

Cuprins

1. Introducere	3
2. Instalare	4
3. Lucrul cu fisierele	5
4. Prelucrarea Imaginilor.....	10
5. Reconstructia Multiplanara	12
6. Segmentarea	21
6.1 Nivelul prag	21
6.2 Segmentarea manuala	22
6.3 Segmentarea watershed	23
6.4 Extinderea regionala	24
7. Masti	25
7.1 Operatiile booleane ale mastilor	27
7.2 Operatii de prelucrare a mastilor	27
8. Suprafete.....	30
8.1 Generarea suprafetelor tridimensionale	30
8.2 Prelucrarea si ajustarea suprafetelor tridimensionale	30
9. Prelucrarea fina si postprocesarea	32
9.1 Interfatarea softului de prelucrare fina	33
9.2 Functionalitatile softului de prelucrare fina	35
10 . Randarea volumica si vizualizarea	42

Manual de utilizare al softului de reconstrucie 3D INO-ORBITAL

1. Introducere

Acest framework de reconstrucie 3D este bazat pe softul liber (Open Source) InVesalius 3 folosit pentru analiza si segmentarea de modele anatomice virtuale, cu posibilitatea de generare a unor fisiere compatibile cu imprimantele 3D. Numele InVesalius a fost in onoarea medicului Belgian Andreas Vesalius (1514 -1564) considerat a fi parintele anatomiei modern si este dezvoltat de catre Centrul pentru Tehnologia Informatiei Renato Archer, o divizie a Ministerului Stiintei si Tehnologiei din Brazilia. Din aceleasi considerente plus faptul ca este bazat pe InVesalius, a fost luata decizia ca numele acestui framework sa fie INO-ORBITAL InVesalius.

Desi initial (2001) a fost distribuit sub forma instalabila freeware, din 2007 sursele acestuia au fost distribuite liber ca fiind software Open Source, disponibil comunitatilor de programatori si cercetatori din intreaga lume. Ele pot fi folosite si modificate liber, in functie de cerintele si scopul proiectului in care este inclus. Modificarile surselor din cadrul acestui proiect vor fi deasemenea libere (Open Source), obiectul commercial fiind dat doar de implementarea solutiei bazata pe acest software.

Ca o necesitate foarte importanta pentru proiectul INO-ORBITAL, framework-ul a fost interfatat sa lucreze cu alte softuri, pentru corectiile fine ale volumelor 3D obtinute, doua dintre ele cele mai relevante fiind softul Open Source MeshLab si softul freeware MeshMixer. Interfatarea acestor softuri este realizata cu ajutorul unor meniuri simple, intuitive, prezente in cadrul panoului principal de lucru. Pe parcursul acestui document vor fi prezentate in detaliu modurile de lucru si functionalitatile fiecaruia dintre aceste softuri.

Principala caracteristica folosita in cadrul acestui proiect este aceea de reconstrucie a unui obiect tridimensional plecand de la imaginile bidimensionale obtinute cu ajutorul tehnicilor de computer tomograf (CT) sau prin imagini de rezonanta magnetica (MRI). Acest obiect poate fi reprezentat de o zona lipsa sau afectata a corpului uman, in mod particular in acest caz, craniul uman.

2. Instalare

2.1 Cerinte tehnice de instalare

Desi framework-ul poate fi instalat pe sisteme modeste (Procesor Intel 2.5 GHz, 8GB Ram, Placa video Nvidia sau ATI cu 1GB memorie si rezolutie video de 1920x1080) in urma testelor de performanta din cadrul proiectului, rezultatele optime de lucru au fost pentru urmatoarea configuratie:

- **Procesor Ryzen 9 5900X**
- **Memorie RAM 64GB**
- **Harddisk SSD 1TB**
- **Placa Video GeForce RTX 2060**
- **Sistem de operare Windows 10 Pro sau Linux 64 bit (Ubuntu sau ArchLinux)**

2.2 Procedura de instalare

Momentan acest framework poate fi instalat in mediul de dezvoltare Python, independent de versiunea sistemului de operare folosit. Momentan frameworkul poate fi descarcat gratuit de pe GitHub folosind aplicatia git sau ca arhiva de la adresa:

<https://github.com/mev/invesalius>

si instalat conform procedurilor descrise in fisierele cu instructiuni de instalare, care acompaniaza codul sursa al programului.

Inainte de instalarea softului este necesara aducerea la zi a pachetelor sistemului de operare precum si instalarea dependintelor conform instructiunilor incluse.

Odata instalate dependintele si variabile de sistem, softul poate fi lansat, din directorul principal folosind comanda

```
#C:\calea_catre_director\invesalius3>python app.py
```

Dupa executarea acestei comenzi, pe ecranul calculatorului va aparea imaginea din Figura 1 care reprezinta meniul general al softului de reconstructie.

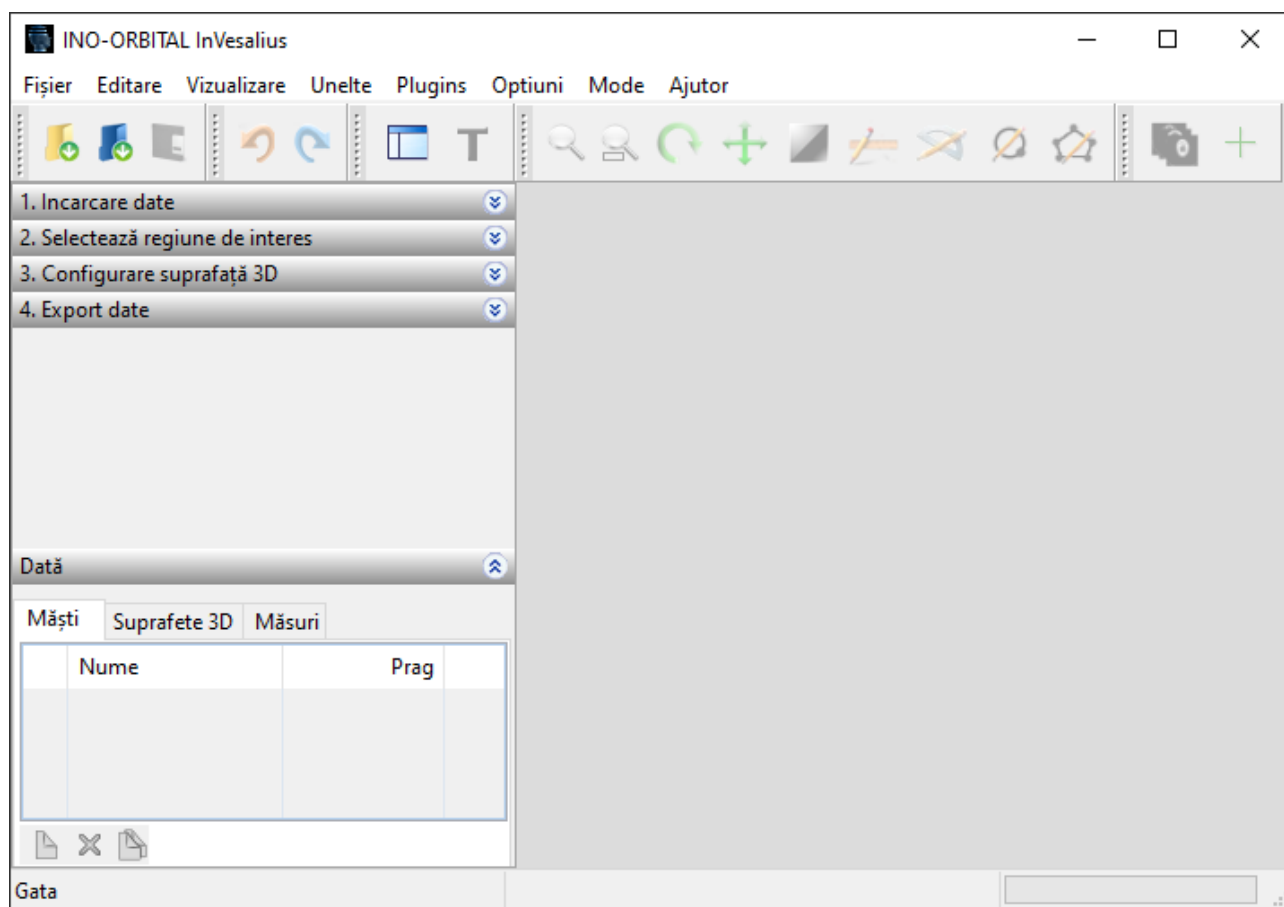


Figura1. Meniul principal al softului de reconstrucție

Meniul general include submeniuri dedicate lucrului cu fisierele compatibile, vizualizării, instrumentelor de prelucrare, opțiunile pentru legătura cu alte instrumente și softuri externe precum și un submeniu Ajutori.

3. Lucrul cu fisierele

Acest soft este capabil să importe fișiere în formatul DICOM, inclusive cele arhivate, NIfTI, PAR/REC, BMP, TIFF, JPEG și PNG.

În următoarele paragrafe va fi descris modul în care operatorul poate importa fișierele în formatul acceptat și apoi deschide și edita în vedere prelucrării grafice ulterioare.

Pasul 1 – Importul fișierelor.

Din meniul **Fisier** se va selecta optiunea **Importa imagini medicale**, dupa care, in fereastra nou deschisa se poate alege calea catre directorul care contine imaginile. Softul este capabil sa caute fisierele si in subdirectoarele incluse in acest director. De regula formatul imaginilor medicale este DICOM, drept urmare softul va afisa mesajul “Alege un fisier DICOM” in bara ferestrei de lucru nou deschise. DICOM este standardul de transmitere, stocare si prelucrare a majoritatii imaginilor medicale. Acest format, are in structura sa doua componente: cea care contine imaginile propriu-zise, continand informatia vectoriala la nivel de pixel precum si meta-informatia in care sunt stocate informatii de interes general precum numele pacientului, medical, modul in care a fost achizitionata imaginea, pozitia relativa a imaginii raportata la spatiul axelor.

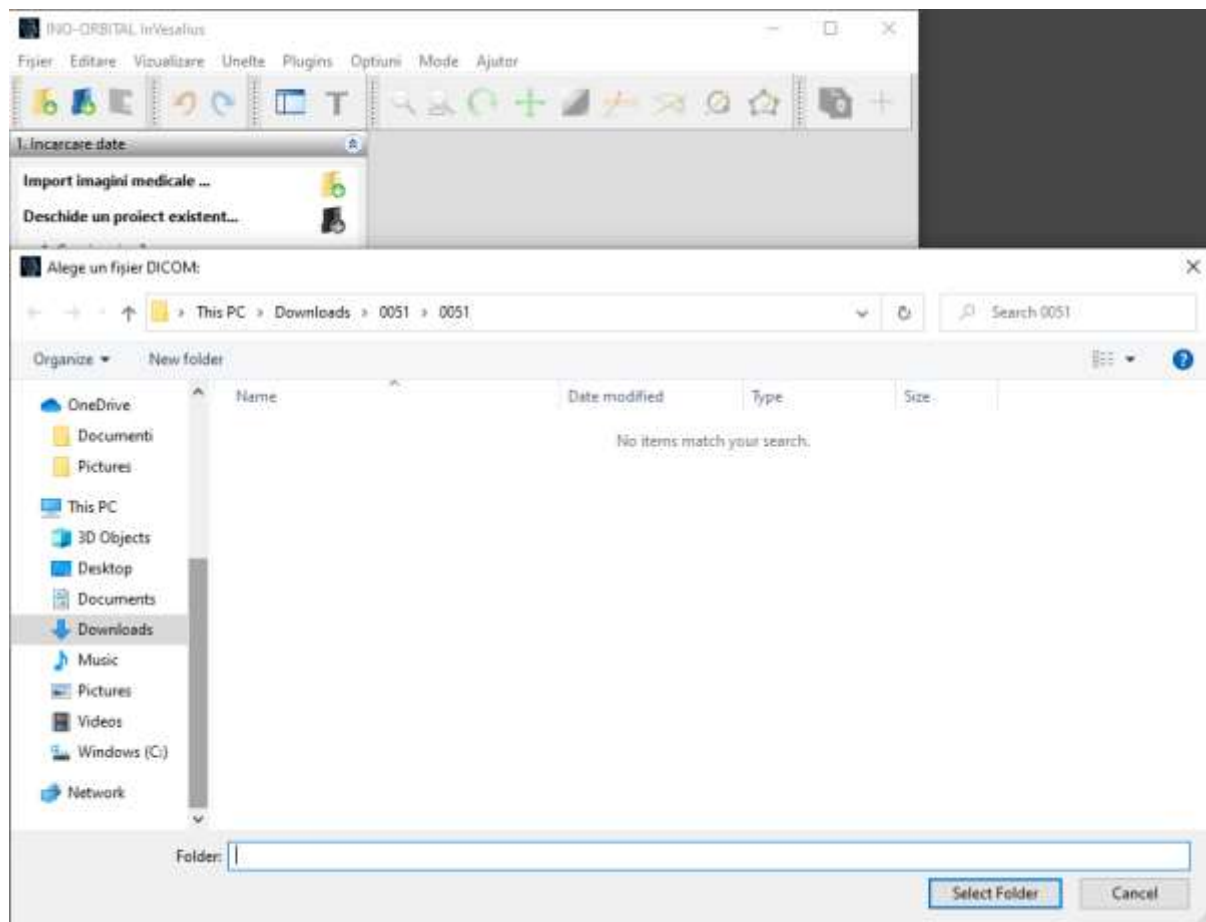


Figura 2. Importul fișierelor provenite de la aparatul medical

Odata selectat directorul, dupa apasarea butonului **Select Folder**, softul incepe sa caute fisierele DICOM si le va deschide intr-o noua fereastra – Figura 3.

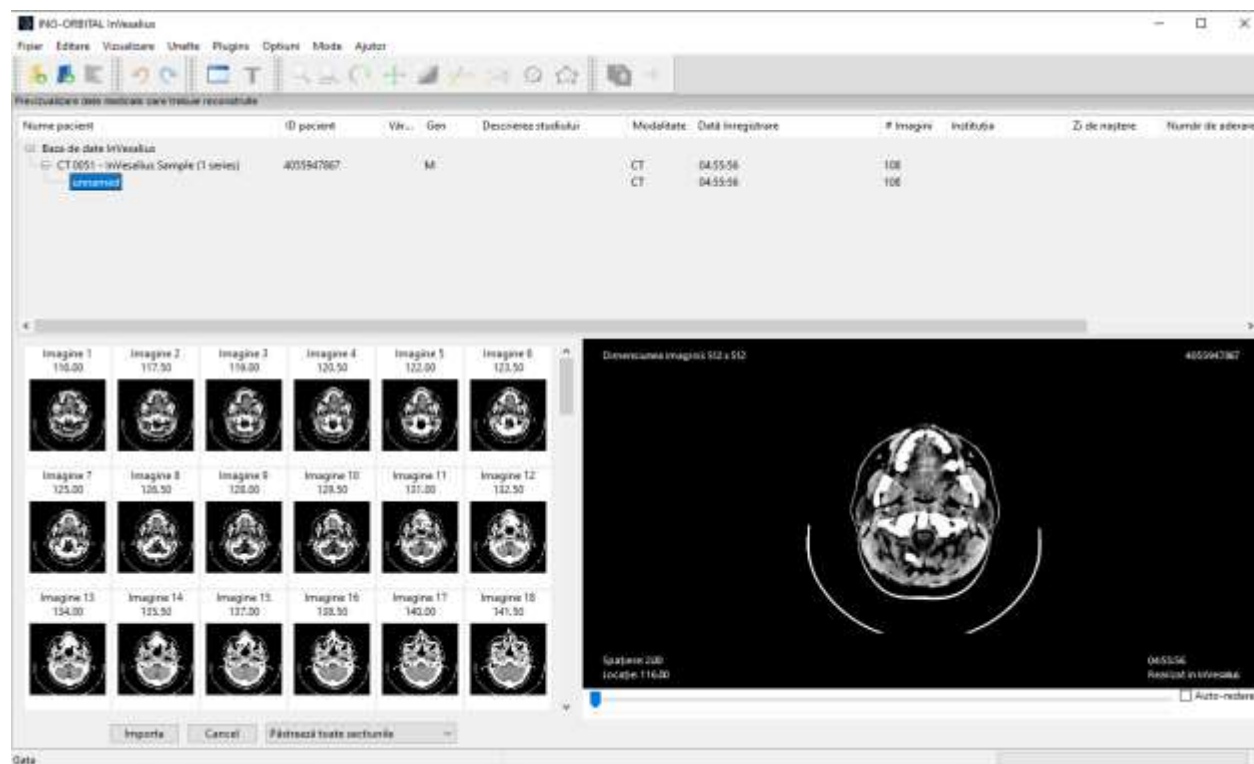


Figura 3 Fisierul DICOM deschis in interfața softului de reconstructive

Dupa cum se poate observa in figura 3, pot fi identificate cele doua componente DICOM, meta-informatia care apare sub prima linie din Baza de date precum si sectiunile bidimensionale rezultate in urma efectuării analizei de computer tomograf. In partea inferioara stanga a panoului sunt publicate in preview, lasandu-i operatorului posibilitatea sa navigheze cu ajutorul mouse-ului printre toate sectiunile incarcate, in cazul particular din figura 3, numarul acestora fiind 108.

Deoarece multe fisiere provenite de la aparatele medicale (CT sau MRI) pot contine un numar foarte ridicat de fisiere componente, in acest meniu operatorul are posibilitatea de a pastra toate sectiunile sau a sterge unele din acestea. Cu ajutorul mouse-ului poate selecta folosind butonul stanga din descrierea intregii serii (a doua linie de sub Baza de date Invesalium) cate sectiuni din seria respective sa omita. Deoarece, in cazul acestui proiect rezolutia cu care se reconstruieste o proteza tridimensionala este foarte importanta pentru a obtine o structura compatibila anatomic

si aproape identica cu organul lipsa, operatorului ii este indicat sa pastreze toate sectiunile. Acesta este si motivul pentru care au fost facute teste de performanta si s-a optat in paragraful “Cerinte tehnice de instalare” pentru sistemul de calcul prezentat. Deasemenea exista posibilitatea reducerii rezolutiei la un anumit procent fata de original, insa, nici aceasta facilitate nu este indicate in cazul reconstructiei faciale 3D, ea putand afecta calitatea protezei finale.

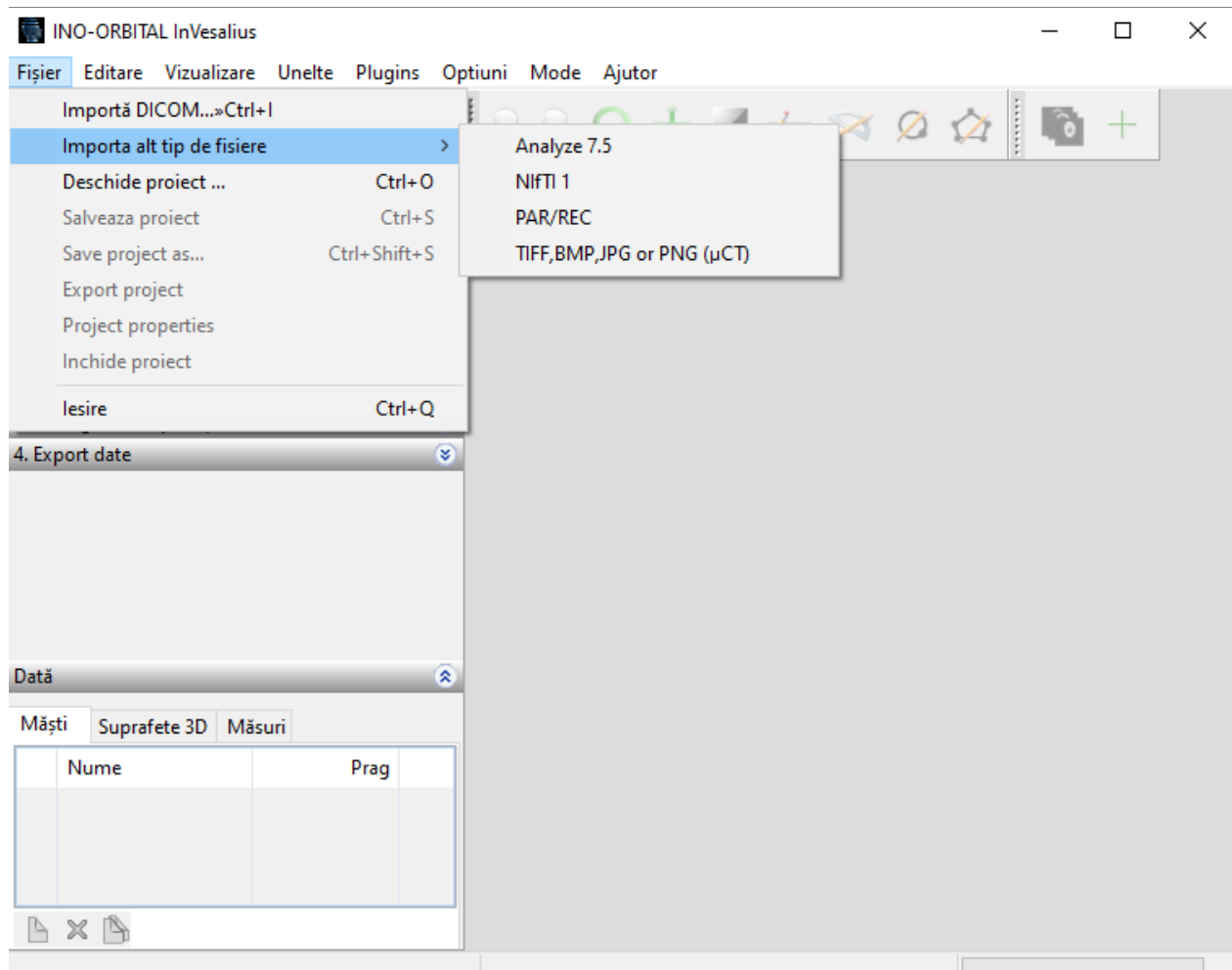


Figura 4. Tipurile de fisier compatibile cu importul

In acest framework, in afara standardului medical pentru imagini, DICOM, pot fi importate si alte formate de fisier. Pentru a realiza acest lucru, din meniul **Fisier** se acceseaza submeniul **Importa alt tip de fisier** si apoi se selecteaza unul din formatele prezente in lista din figura 4 : **Analyze**, **NIFTI**, **PAR/REC**, **TIFF**, **BMP**, **JPG** sau **PNG (micro CT)**. Aceste tipuri de fisier pot fi importate doar daca pixeli sunt reprezentati in nuante de gri. Si in acest caz, daca in directorul selectat sunt mai

multe fisiere, va fi incrementata o lista cu fiecare din acestea, permitand operatorului sa elimine acele imagini lipsite de interes. In cazul reconstructiei folosind astfel de fisiere sunt necesare in afara de definirea proiectului indicarea orientarii imaginilor (echivalentul meta-informatiei din cazul fisierelor DICOM) precum si dimensiunile voxel-ului pe cele trei coordonate ale spatiului. In anumite situatii (imagini de microtomografie provenite de la echipamente GE si Brucker) exista posibilitatea ca citirea unui fisier text, continand parametrii achizitiei de imagini, sa se faca in mod automat daca acest fisier se gaseste in acelasi director cu imaginile achizitionate.

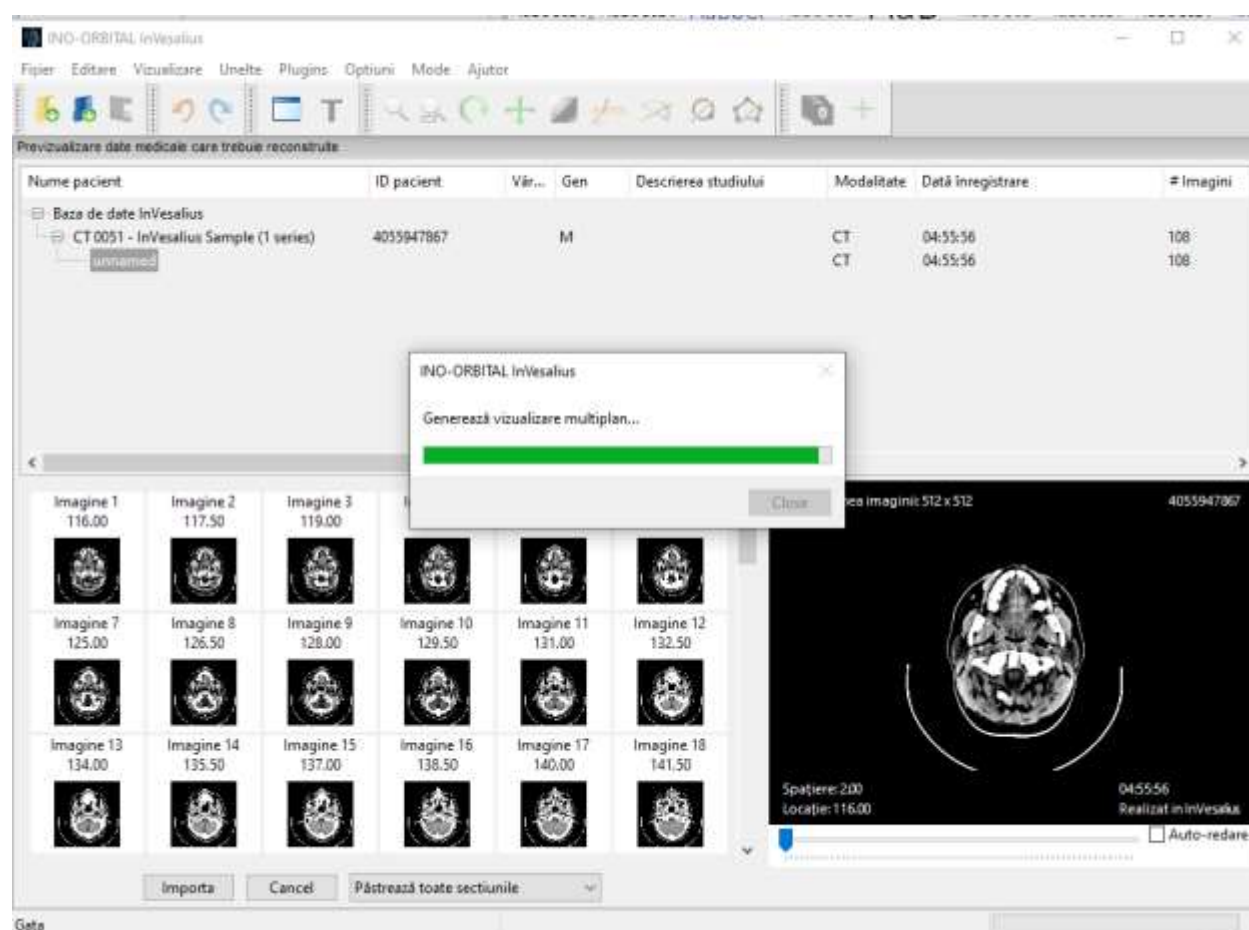


Figura 5. Generarea reconstructiei multiplanare

Odata selectati parametrii de lucru cu fisierele, se poate activa butonul **Importa** din partea inferioara stanga a figurii 3, dupa care, in functie de setarile alese si puterea de calcul a

computerului folosit, se efectueaza reconstructia multiplanara a imaginilor achizitionate, aceasta operatiune fiind insotita de mesajul din figura 5 "Generează vizualizare multiplan".

4. Prelucrarea Imaginilor

Înainte de prelucrarea imaginilor, dacă acestea au fost importate sub un alt format decât cel medical DICOM, trebuie verificată ordinea acestora, deoarece pot conține informații greșite sau incompatibile cu standardul DICOM.

O serie de unelte și facilități sunt incluse în soft, cu ajutorul acestora se poate obține o bună aliniere a imaginilor în vederea reconstrucției tridimensionale.

Pentru o imagine dată este posibilă oglindirea acesteia, așa cum este ilustrat în figura 6.

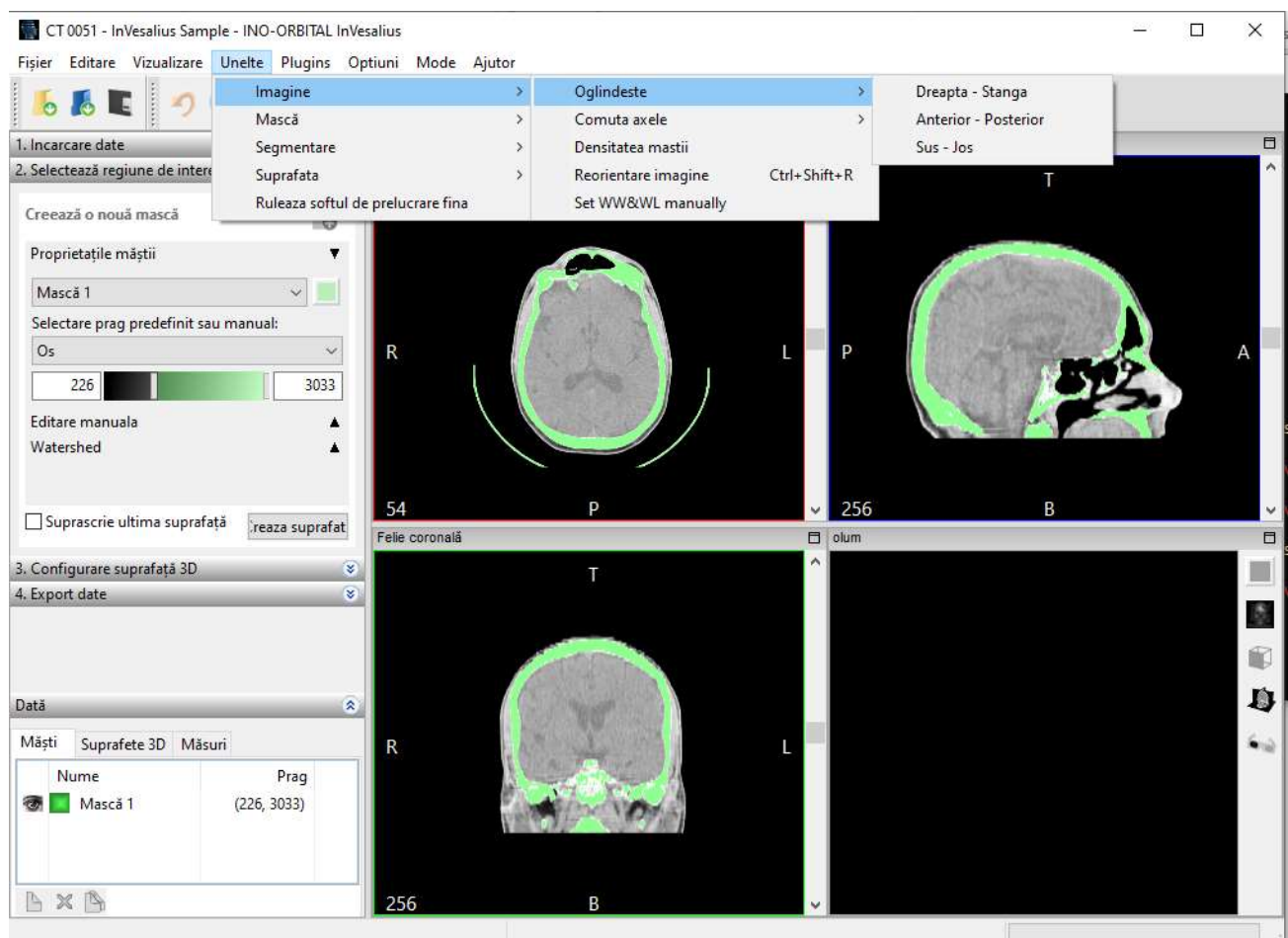


Figura 6. Meniul Unelte și opțiunile de ajustare a imaginilor

În meniul **Unelte** se selectează submeniul **Oglindeste** după care una din opțiunile: Dreapta-Stanga, Anterior-Posterior, Sus-Jos. În cazul în care imaginea a fost greșit importată, o comutare de axe poate realiza această corectie. În figura 7 se poate observa rezultatul a două transformări succesive de oglindire, anterior-posterior și dreapta-stanga.

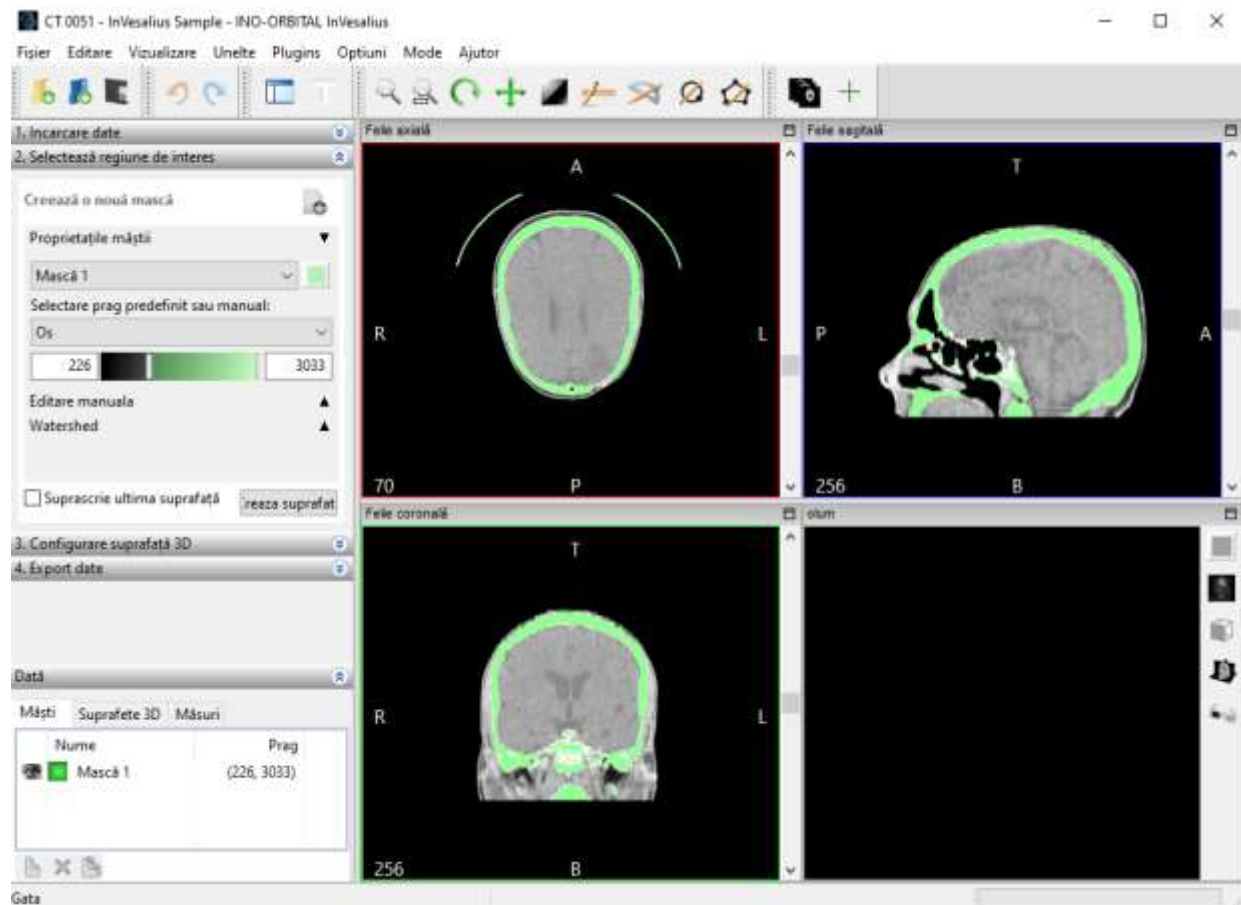


Figura 7. Exemplu de ajustare a imaginilor folosind opțiunea oglindire

Un alt instrument de ajustare al imaginilor, foarte important, este reorientarea acestora. Această opțiune se găsește în submeniul 3 din meniul **Unelte->Imagine->Reorientare imagine** conform figurii 6. Rezultatul unei astfel de operații poate fi observat în figura 8. Reorientarea are ca parametru în afara unghiurilor de rotație pe cele trei axe și metoda de interpolare grafică ce trebuie aplicată după rotație. Metoda implicită este interpolarea tricubică, însă aceasta poate fi schimbată cu o altă metodă: tricubică, trilineară, Lanczos.

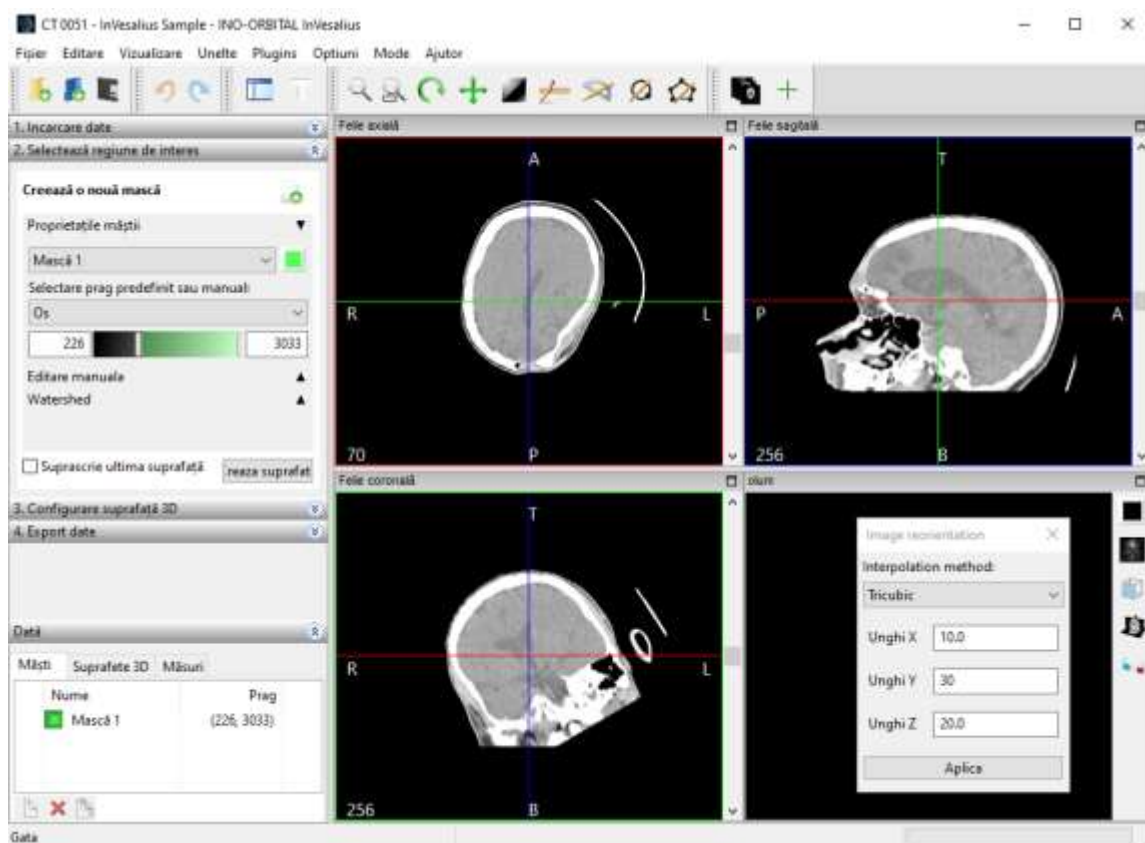


Figura 8. Rezultatul aplicarii operatiei de reorientare a imaginii

5. Reconstructia Multiplanara

Dupa ce butonul **Import** din figura 3 a fost activat iar reconstructia multiplanara indicate de bara progresiva din figura 4 s-a incheiat, softul va printa pe ecran reconstructia in planele Axial, Sagittal si Coronal precum si o fereastra pentru generarile de obiecte 3D.

Orientarea Axiala consta intr-o sectiune transversala a zonei de interes, paralela cu planul axial al corpului uman. Orientarea Sagittala este data de o sectiune laterala in raport cu zona de interes, paralela cu planul sagittal al corpului uman, iar sectiunea coronala este compusa dintr-o sectiune paralela cu planul coronal, plan care divide corpul uman in doua jumatatii, ventrala si dorsala. Pentru a evidenta intersectia imaginilor in diferitele planuri (orientari) trebuie activata optiunea **Felii intersectate in cruce**, asa cum este indicat in figura 9 , in partea superioara, dreapta. Modificarea unui punct intr-un plan are ca efect modificare acestuia si in imaginile din celelalte doua planuri.

Odata cu reconstructia multiplanara programul efectueaza si o segmentare a imaginii, delimitand de exemplu o zona de tesut moale, osos, etc. Aceasta zona este delimitata cu ajutorul unei culori, creand astfel o masca suprapusa peste imagine, masca ce evidentiaza structura respectiva.

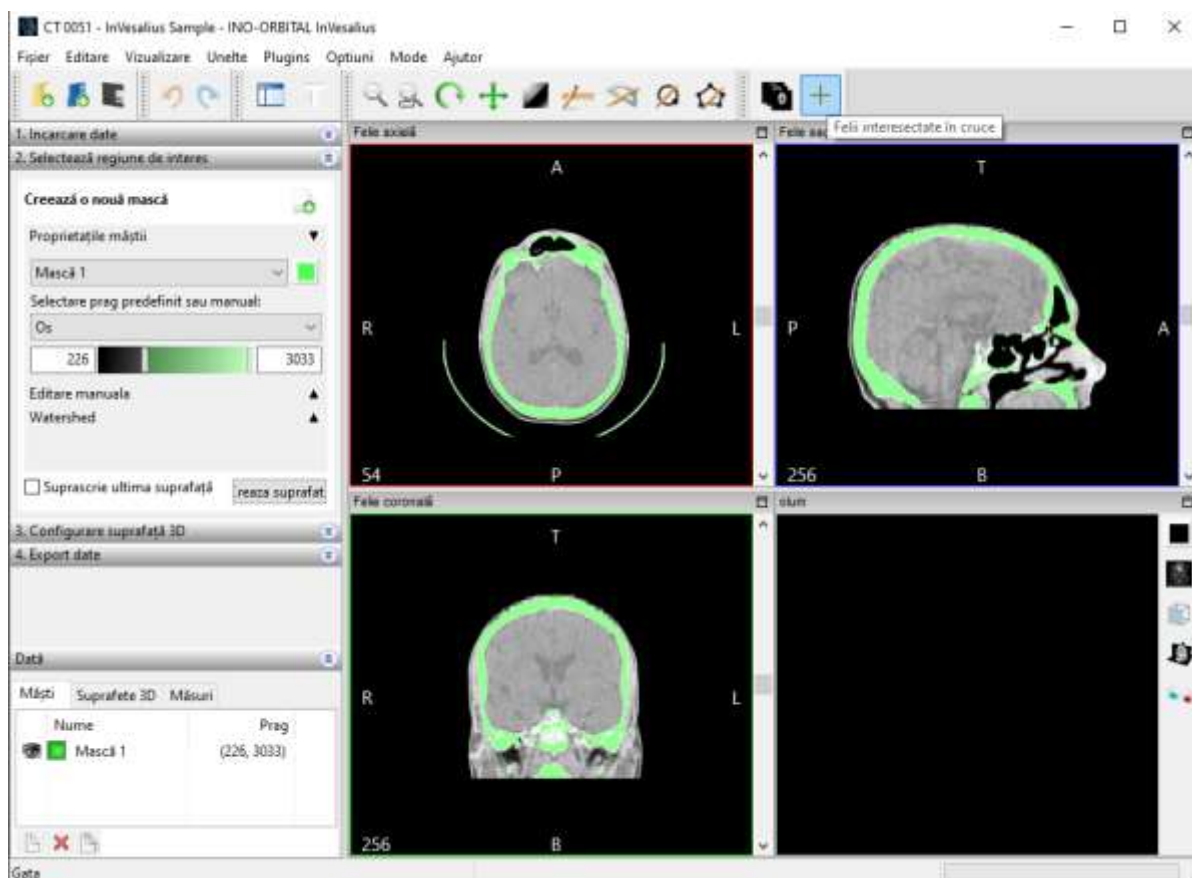


Figura 9. Funcția de activare felii intersectate in cruce și delimitarea unei masti osoase

O alta functionalitate a softului este aceea de a interpola secțiunile. Aceasta proprietate este folosită exclusiv pentru vizualizare și nu are efect în segmentare sau în generarea suprafețelor tridimensionale. În figura 10 este indicat modul în care se poate activa sau dezactiva această funcționalitate.

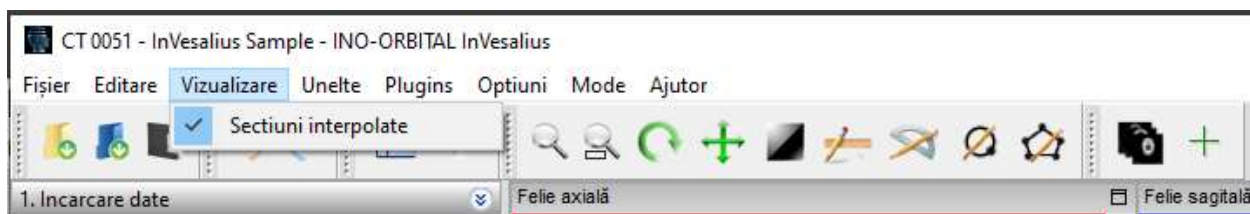


Figura 10. Activarea sau dezactivarea secțiunilor interpolate

Alte funcționalități precum mișcarea, rotirea, mărirea sau micșorarea imaginilor sunt prezente în bara de funcționalități din figura 10. Mărirea unei imagini poate fi făcută și prin maximizarea unei dintre cele patru subferestre prezente pe panoul principal al softului, așa cum se poate observa în figura 11.

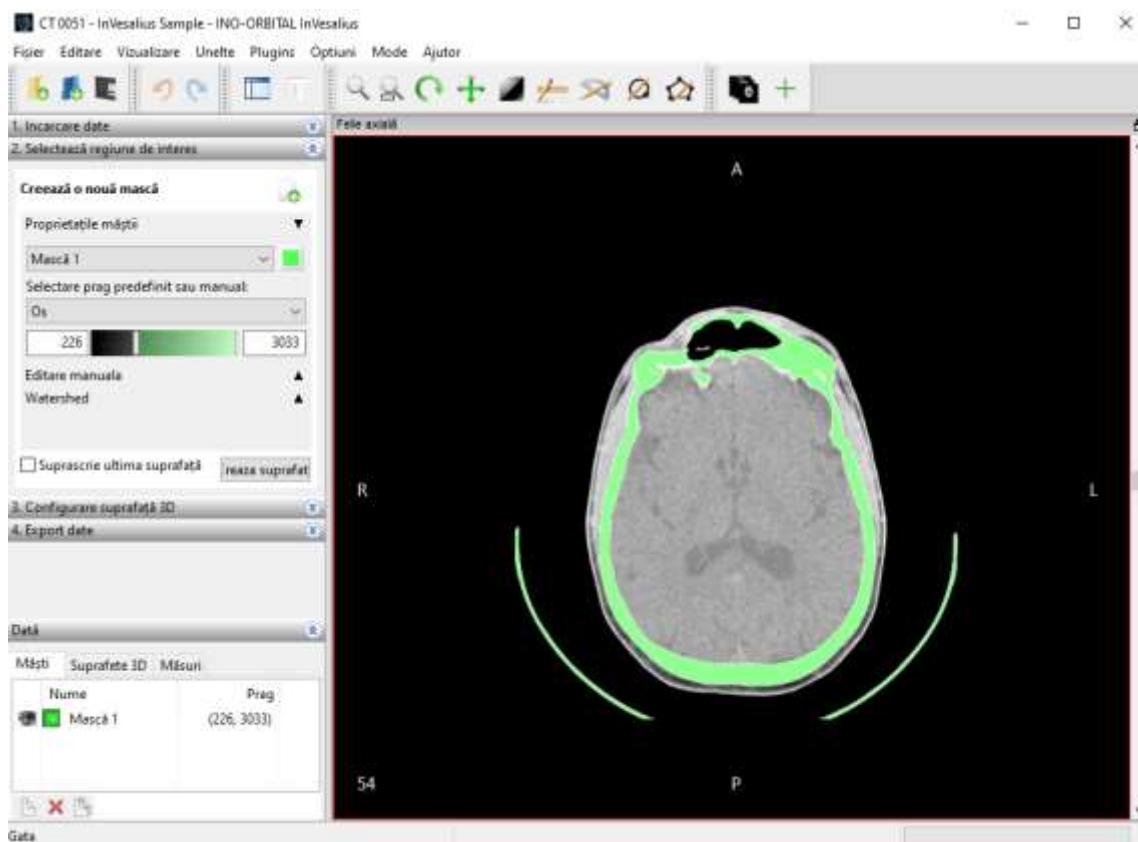


Figura 11. Mărirea unei subferestre pe întreg panoul de lucru al frameworkului

Una dintre functionalitatile cheie ale acestui framework este marirea pe baza de selectie. Aceasta permite o marire a unei zone de interes, zona care apoi poate fi prelucrata la nivel de pixel. In figura 11, este reprezentata de pictograma numarul 8 din bara de instrumente.

Calitatea imaginilor poate fi imbunatatita cu ajutorul altor doua functionalitati: luminozitatea si contrastul. Acestea permit setarea unui interval al nuanțelor de gri (window level) precum si largimea nuantei (window width), folosite pentru a vizualiza imaginile. Modificarea acestor valori se realizeaza intr-un mod destul de simplu, cu ajutorul mouse-ului, pentru luminozitate se tine butonul stanga apasat si se misca de mouse orizontal iar pentru contrast miscarea se efectueaza pe verticala. Pentru valori implicite, se apasa butonul dreapta al mouseului pe imaginea respectiva si se selecteaza din meniul **Window width and level**(nu am gasit un echivalent romanesc mai adecvat) valoarea dorita, conform figurii 12.

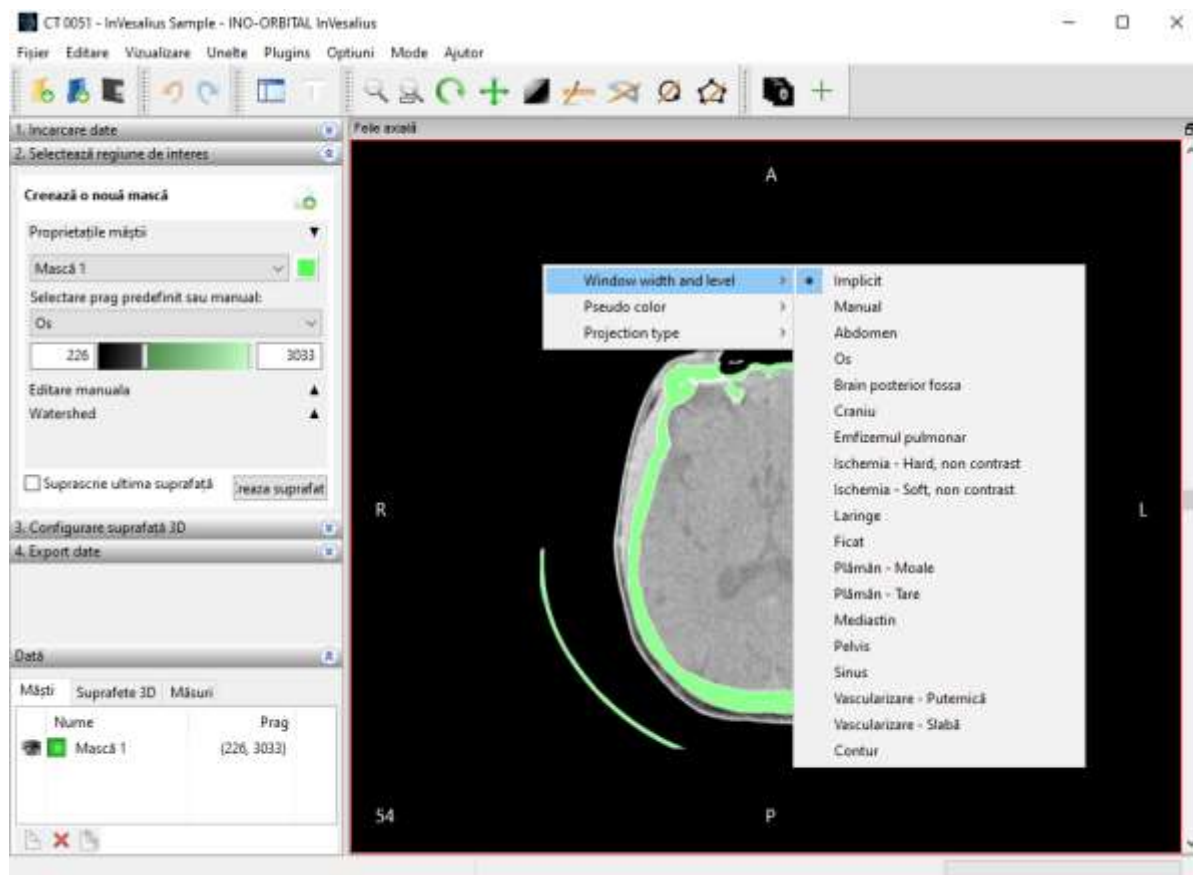
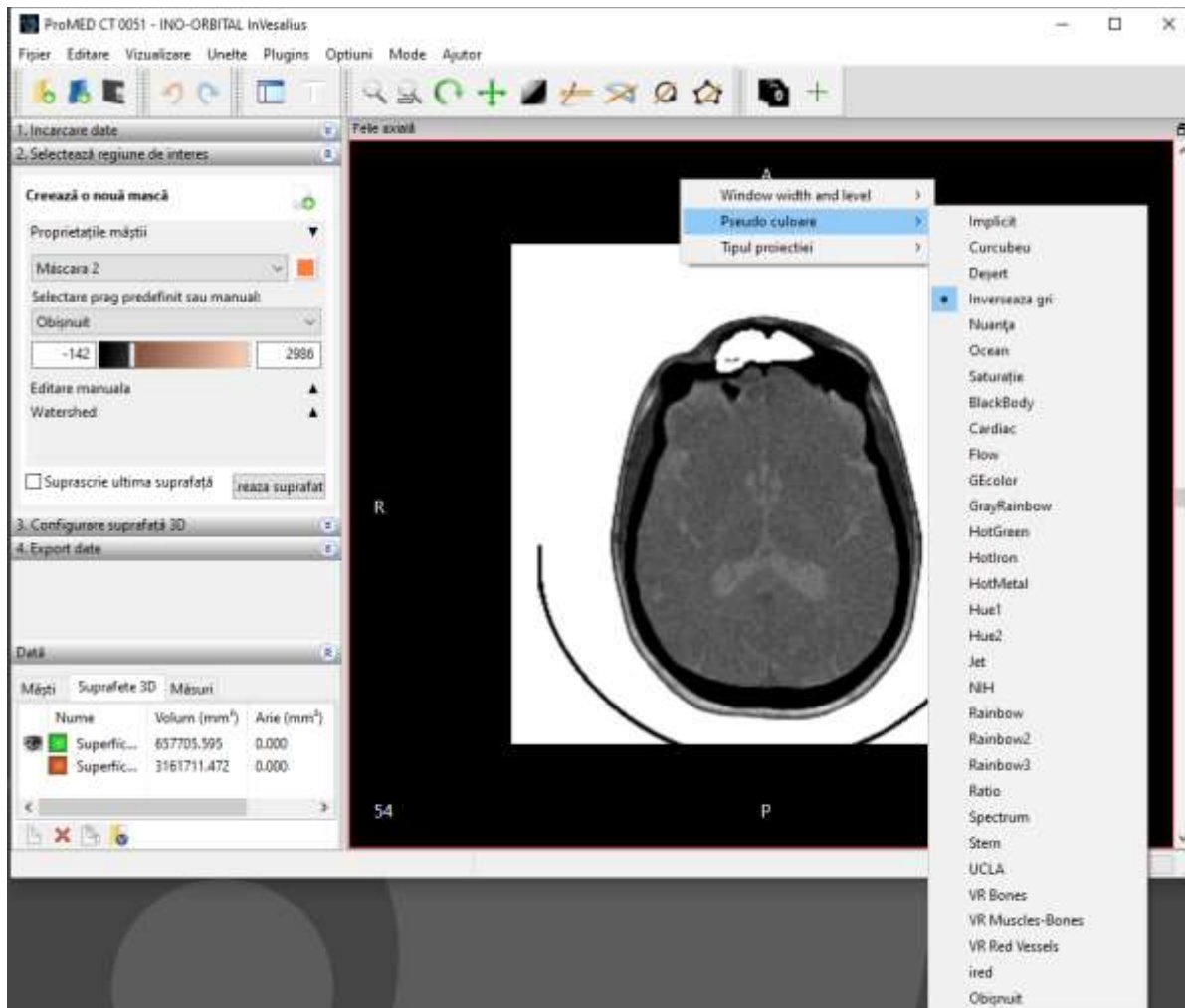


Figura 12. Selectare implicita sau dedicate a luminozitatii si contrastului

O alta facilitate folosita pentru a imbunatatii vizualizarea imaginilor este Pseudo culoarea. Aceasta inlocuieste nivelele de gri cu anumite culori sau cu inversul acestor nivele de gri. Consecinta este faptul ca regiunile intunecate devin luminoase si viceversa, asa cum este aratat in figura 13. Totodata in aceasta figura sunt prezentate si optiunile disponibile pentru inlocuirea nivelelor de gri, in functie de zonele de interes.



Probabil una dintre facilitatile foarte intens folosite pentru imbunatatirea si analiza imaginilor de tomografie computerizata si rezonanta magnetica este modificarea tipului de proiectie a imaginilor bidimensionale. In afara modului normal, in program sunt prevazute sase tipuri de proiectie, in functie de investigatia dorita: **Normal, MaxIP, MinIP, MeanIP, MIDA, Contour MaxIP, Contou MinIP.**

Figura 14 ilustreaza modul in care pot fi accesate si schimbate aceste proiectii.

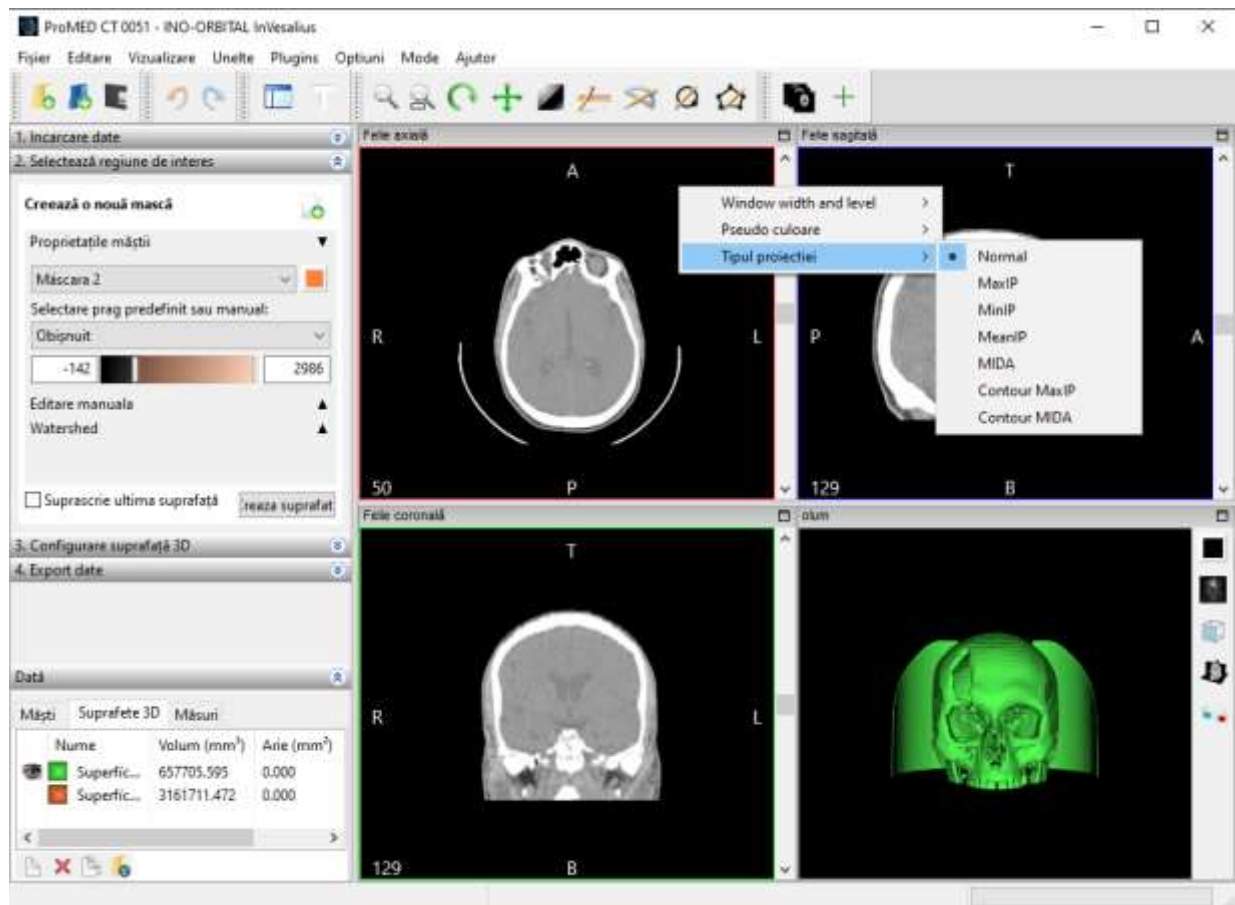


Figura14. Accesarea meniului **Tipul Proiectiei**. Pentru imaginile din acest caz a fost aleasa proiectia normala.

In proiectia **MaxIP** (Maximum Intensity Projection) sunt selectate acele celule care au un maxim de intensitate dintr-o serie de iteratii. In functie de “adancimea” proiectiei, se itereaza mai multe celule (voxels)

In figura 15 sunt prezentate imaginile folosind proiectia MaxIP , pentru fiecare din cele 3 planuri, folosind numar diferit de sectiuni in fiecare caz. In partea inferioara a fiecărei imagini poate fi selectionat numarul de sectiuni pentru care sa se faca iteratia folosind proiectia MaxIP.

Proiectia **MinIP** este exact opusul **MaxIP** iar **MeanIP** foloseste aceeasi metoda de iteratie, inasa celula aleasa este data de media celulelor iterate. In figurile 16, 17, 18 sunt prezentate imaginile obtinute cu aceste proiectii.

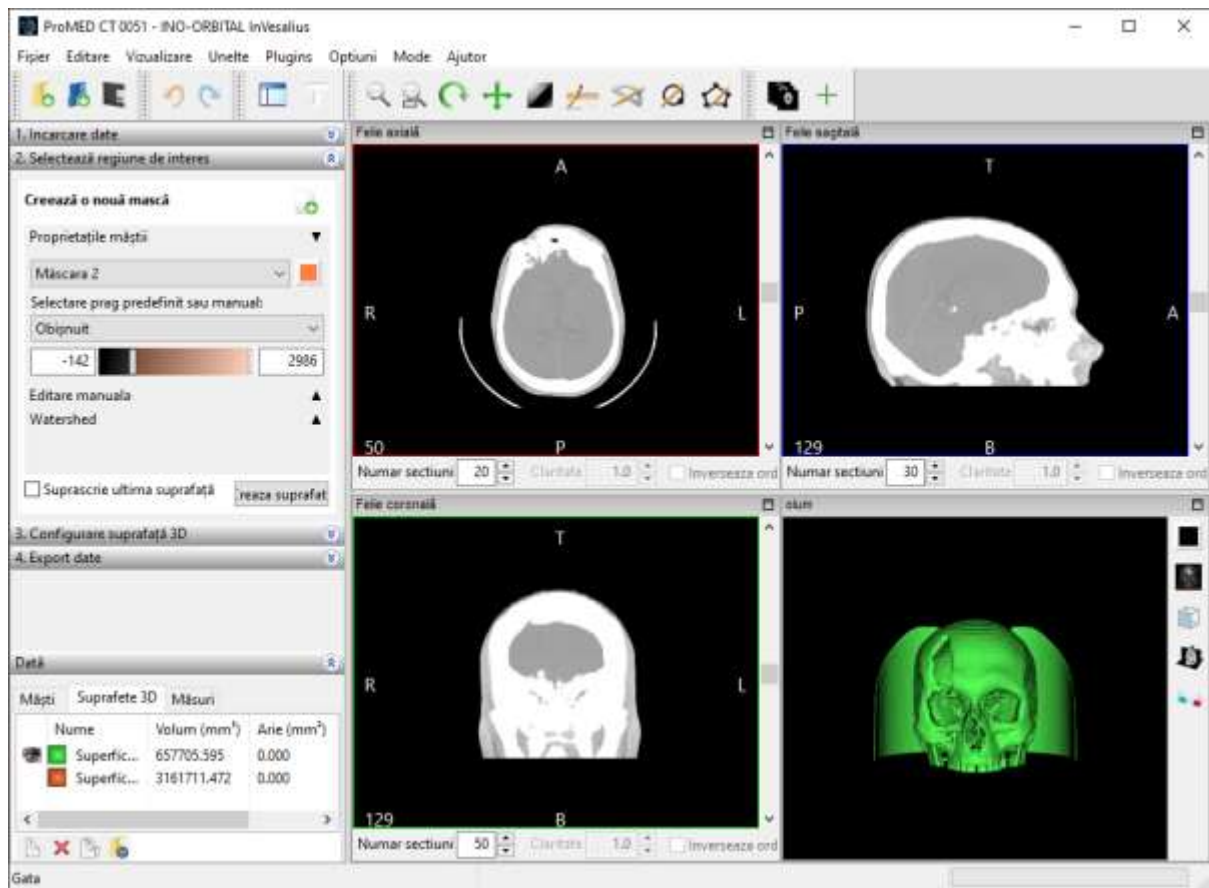


Figura 15. Imaginile bidimensionale folosind proiectia MaxIP si numar diferit de sectiuni pentru fiecare orientare

Proiectia **MIDA** (Maximum Intensity Difference Accumulation) ia in considerare acele voxeluri care au un maxim local al valorilor. Functiile **Contour MaxIP** și **Contour MIDA** permit vizualizarea contururilor obtinute in proiectiile corespunzatoare.

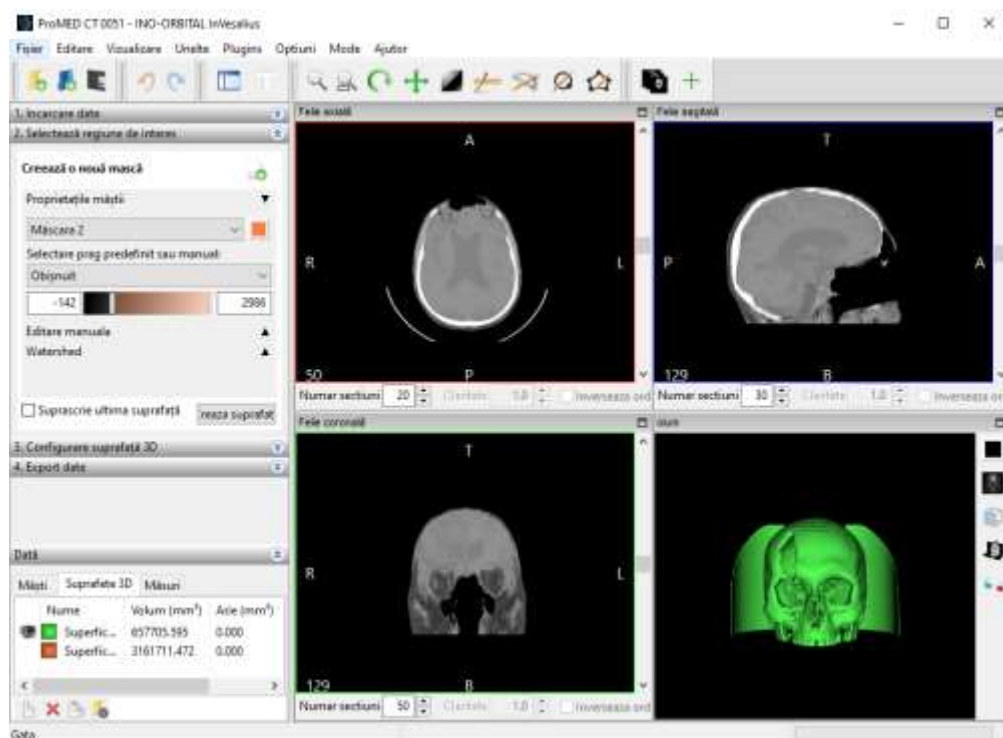


Figura 16. Imaginile bidimensionale folosind proiectia MinIP si numar diferit de sectiuni pentru fiecare orientare

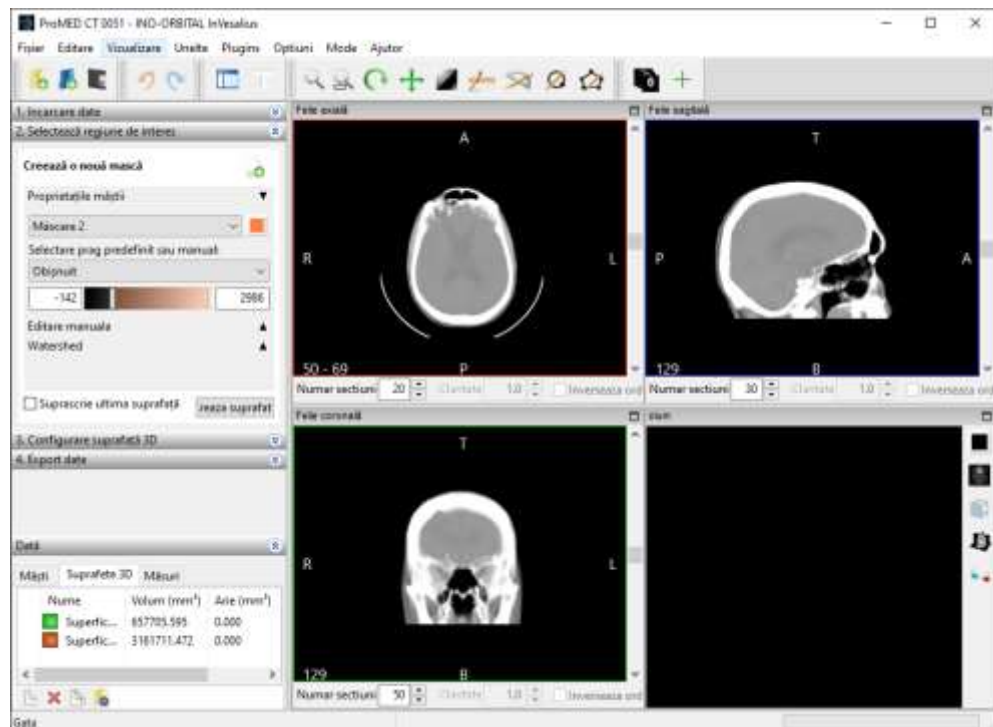


Figura 17. Imaginile bidimensionale folosind proiectia MeanIP si numar diferit de sectiuni pentru fiecare orientare

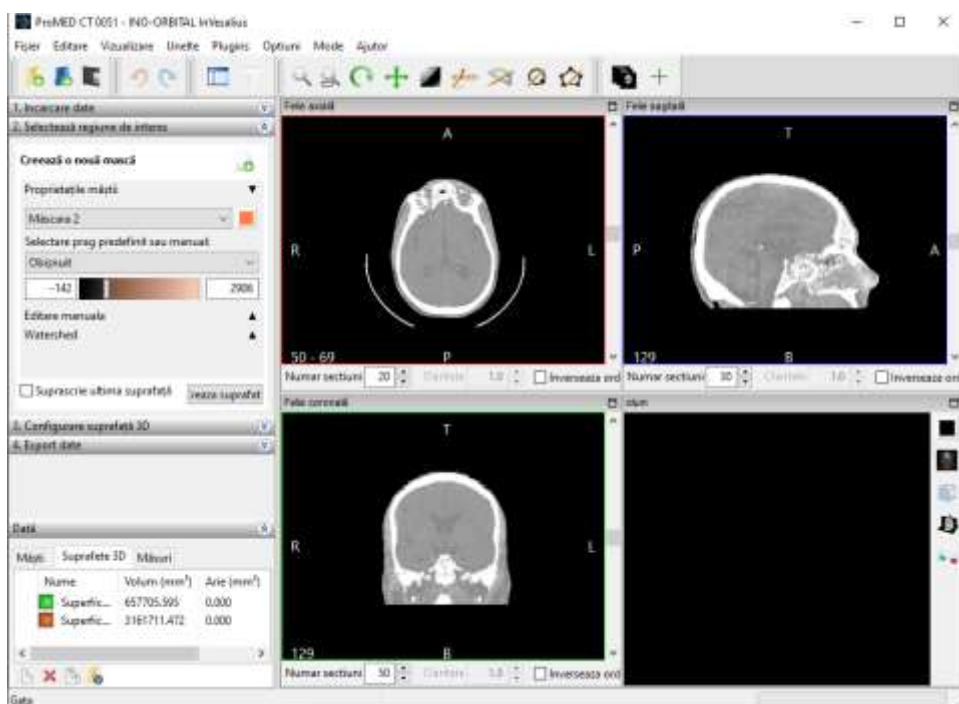


Figura 18. Imaginile bidimensionale folosind proiectia MIP si numar diferit de sectiuni pentru fiecare orientare

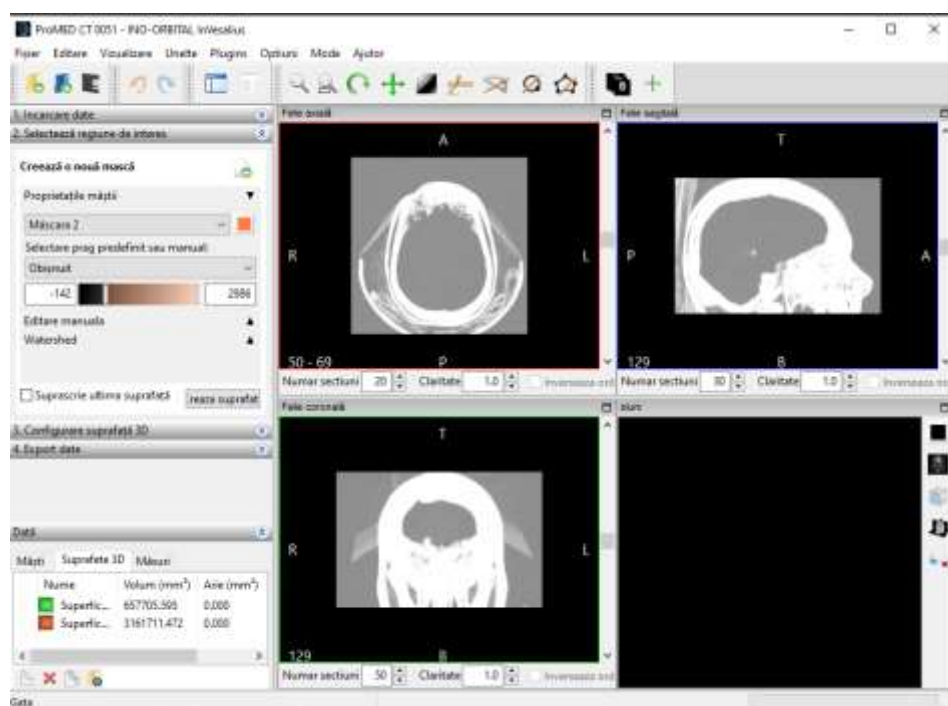


Figura 19. Imaginile bidimensionale folosind proiectia Contour MaxIP si numar diferit de sectiuni pentru fiecare orientare

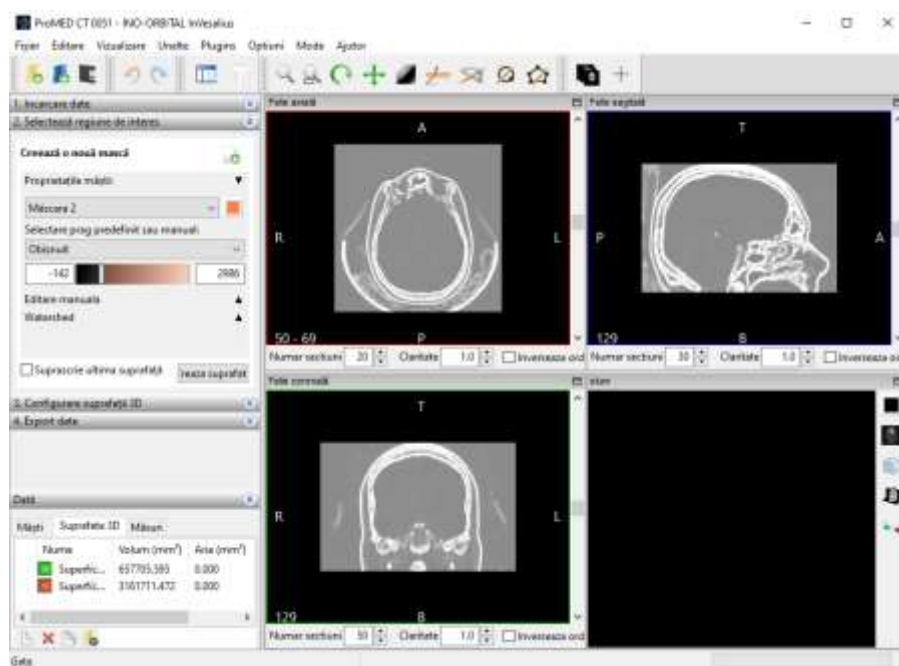


Figura 20. Imaginile bidimensionale folosind proiectia Contour MIDA si numar diferit de sectiuni pentru fiecare orientare

6. Segmentarea

6.1 Nivelul prag

Pentru a identifica si selecta un anumit tip de tesut dintr-o imagine este folosita facilitatea de segmentare a imaginii. Aceasta tehnica presupune existenta unui prag (threshold) pentru valoarea pixelilor considerati. Cand este setata o anumita valoare a acestui prag, sunt detectati numai acei pixeli care se gasesc in intervalul impus de valorile maxime si minime ale pragului. Meniul pentru segmentarea prag este in partea stanga a panoului principal, pe pozitia a doua: **Selecteaza regiune de interes**. Pentru a putea selecta valorile de prag este necesar sa se creeze o masca, o imagine colorata suprapusa peste imaginea studiata, in regiunea de interes. Pragul poate fi modificat schimbând bara de control de la stanga la dreapta între cele doua valori, care, la randul lor, pot fi si ele modificate. Masca creata va fi automat schimbata (in timp real) in functie de valorile setate pentru prag. Programul contine anumite **valori prag** predeterminate bazate pe

tipul de tesut studiat in zona de interes, putand selectand astfel tipul de material in locul valorii de prag. Aceste valori au fost obtinute statistic, din tomografiile medicale si sunt specifice majoritatii tipurilor de tesut din corpul uman.

6.2 Segmentarea manuala

Una dintre facilitatile absolut necesare in cadrul acestui proiect este segmentarea manuala. Aceasta poate fi folosita pentru a sterge sau adauga pixeli intr-o anumita zona de interes. Este instrumental principal in refacerea la nivel de pixel a zonelor afectate, in cazul generarii unei proteze. Meniul pentru segmentarea manuala este prezentat in figura 21. Operatorul are posibilitatea de a selecta valoarea prag, marimea pensulei si modul de lucru a acesteia: desenat sau stergere.

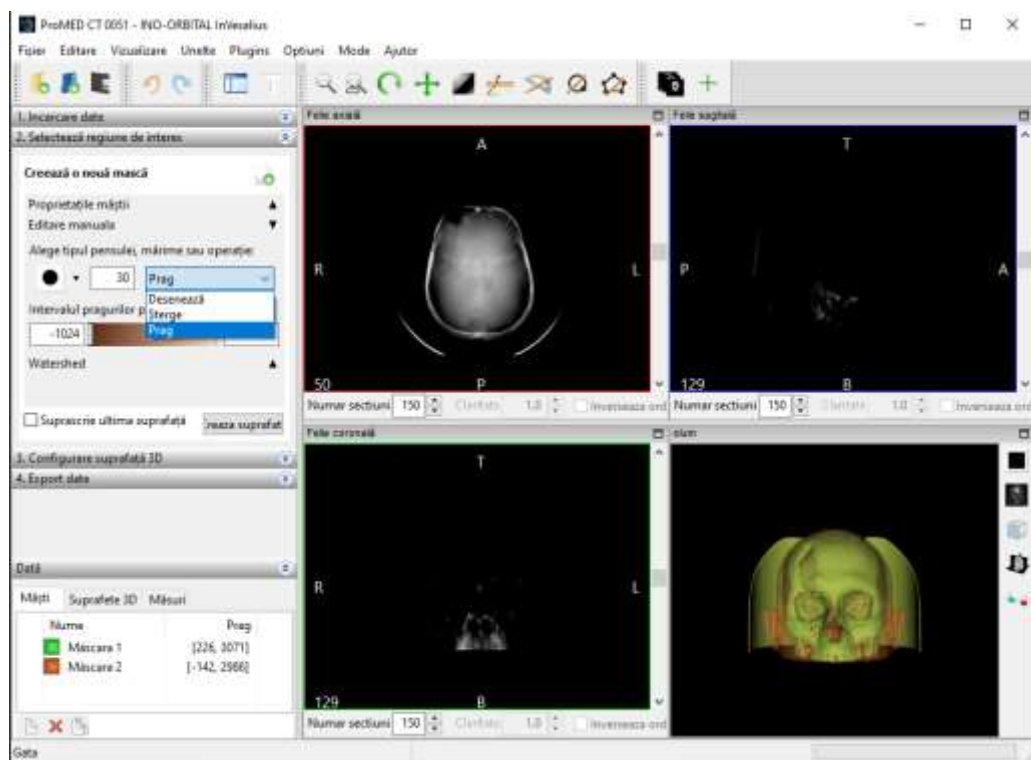


Figura 21. Meniul de segmentare manuala

Dupa ce segmentarea imaginilor a fost realizata, folosind pragurile adecvate, este posibila generarea unei suprafete 3D. Din acelasi meniu al segmentarii, suprafata poate fi generate folosind butonul **Creeza suprafata**. In cazul in care segmentarea a fost facuta in modul manual,

atunci cand se genereaza suprafata operatorul va fi nevoit sa aleaga metoda cu care se va genera suprafata (vezi figura 22): **Binary** sau **Context aware smoothing**.

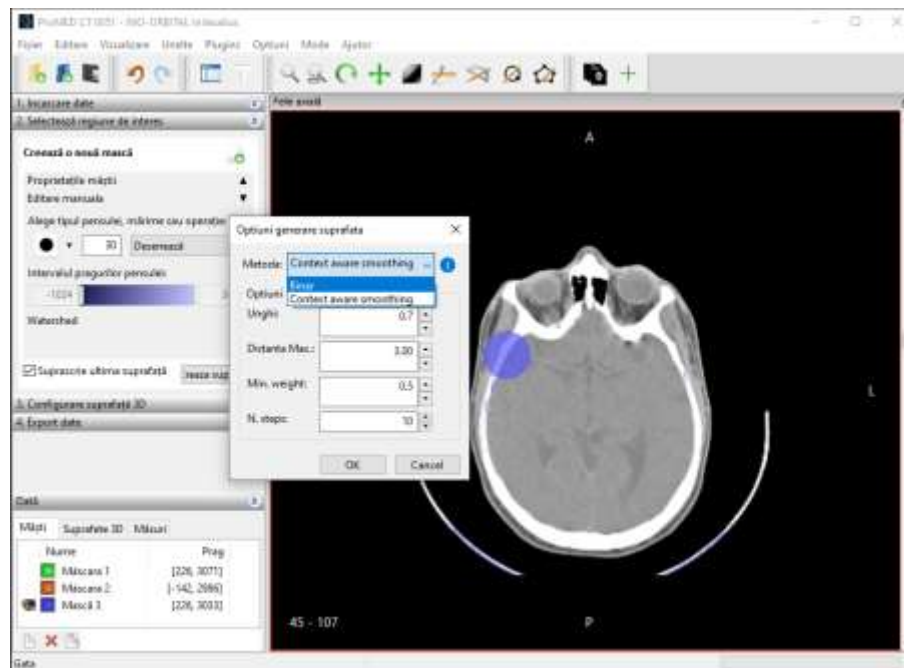


Figura 22. Generarea unei suprafete dupa segmentarea manuala

6.3 Segmentarea watershed

O alta facilitate este segmentarea watershed (bazin hidrografic) in care operatorul marcheaza detalii ale obiectelor si fondului. In aceasta segmentare imaginile sunt tratate precum formele de relief in care intensitatile nuanțelor de gri sunt altitudini, formand munti si vai. Markerii sunt surse de apa, iar apa umple relieful pana cand se poate face distinctia obiectelor de fond. De obicei acest tip de segmentare este folosit pentru a elimina zgomotele de imagine, obtinand astfel detalii mai clare ale obiectului de interes. Meniul **Watershed** include pe langa facilitatiile de obiect, fundal si stergere doua optiuni: **Overwrite Mask** (Rescriere masca) si **WWWL**. Prima optiune este folosita atunci cand operatorul vrea ca rezultatul segmentarii watershed sa rescrie o segmentare automata existenta, iar a doua optiune atunci cand se vor lua in considerare valorile modificate ale luminozitatii si contrastului in vederea obtinerii unei mai bune segmentari.

Segmentarea Watershed include si un set de operatiuni avansate, accesibile prin apasarea butonului de sub cele doua optiuni descrise anterior, in panoul lateral stanga.

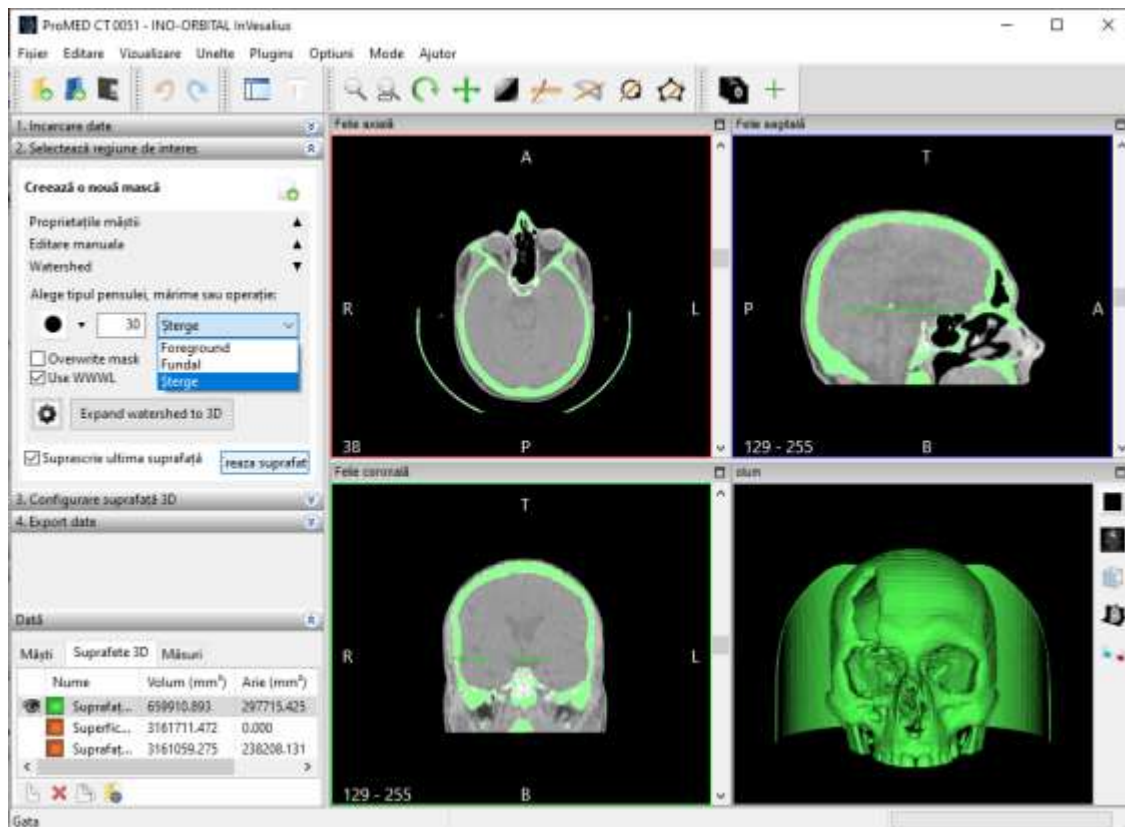


Figura 23. Segmentarea Watershed

6.4 Extinderea regionala

Ultima facilitate descrisa in cadrul meniului de segmentare este Region Growing – figura 24.

Operatia poate fi efectuata in 2D, pe sectiunea selectata sau in 3D, pe toate sectiunile. Optiunile sunt conectivitatea 4 sau 8 in 2D sau 6,18, 26 in 3D. Deasemenea metoda poate fi : dinamica, prag sau confidence. Tehnica de egmentare incepe prin selectia unui pixel pentru ca mai apoi selectia sa se expandeze analizand pixelii din vecinatate si dandu-le proprietatile specific metodei de crestere.

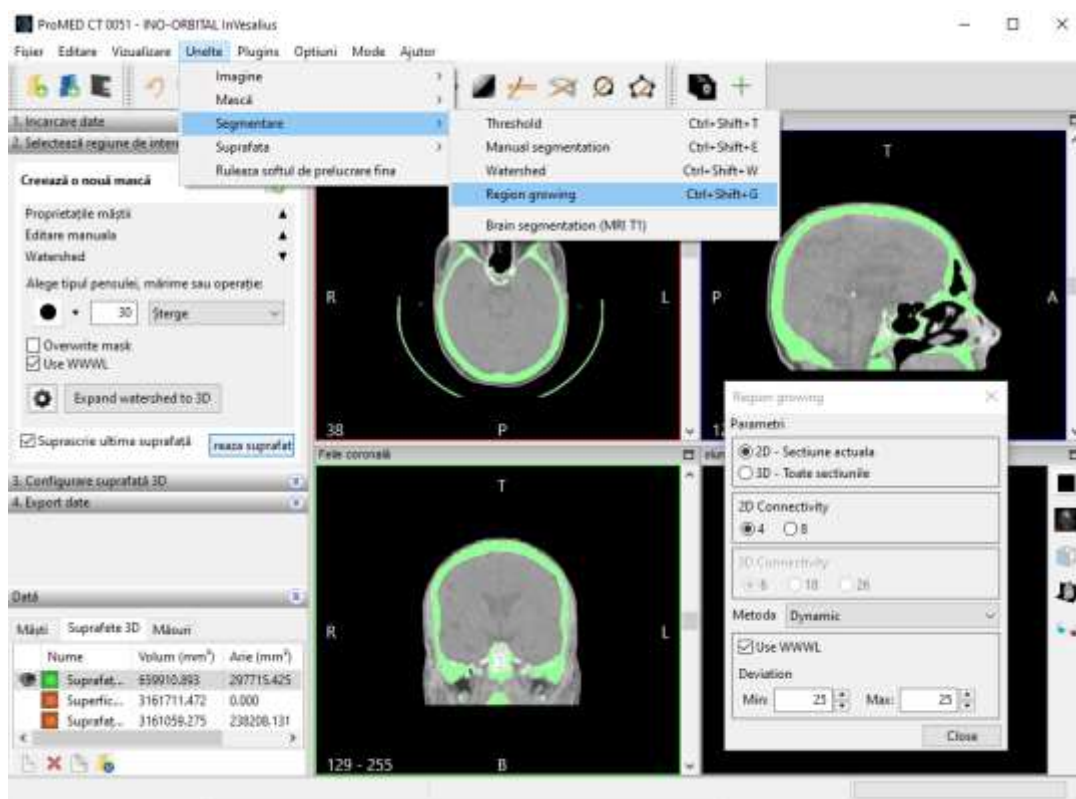


Figura 24. Region growing

7. Masti

Acest capitol reprezinta chintesenta softului folosit in reconstructia 3D din cadrul proiectului INO-ORBITAL. Operatiile cu masti permit realizarea unei proceduri de refacere a unor zone lipsa in cazul traumatismelor craniului. In cele ce urmeaza vor fi prezentate proprietatile mastilor, operatiile care pot fi efectuate cu acestea in cadrul softului de reconstructie precum si procedura pentru obtinerea obiectului de interes tridimensional. In figura 25 este prezentat submeniul **Masca** si functionalitatile acestuia ca parte a meniului **Unelte**.

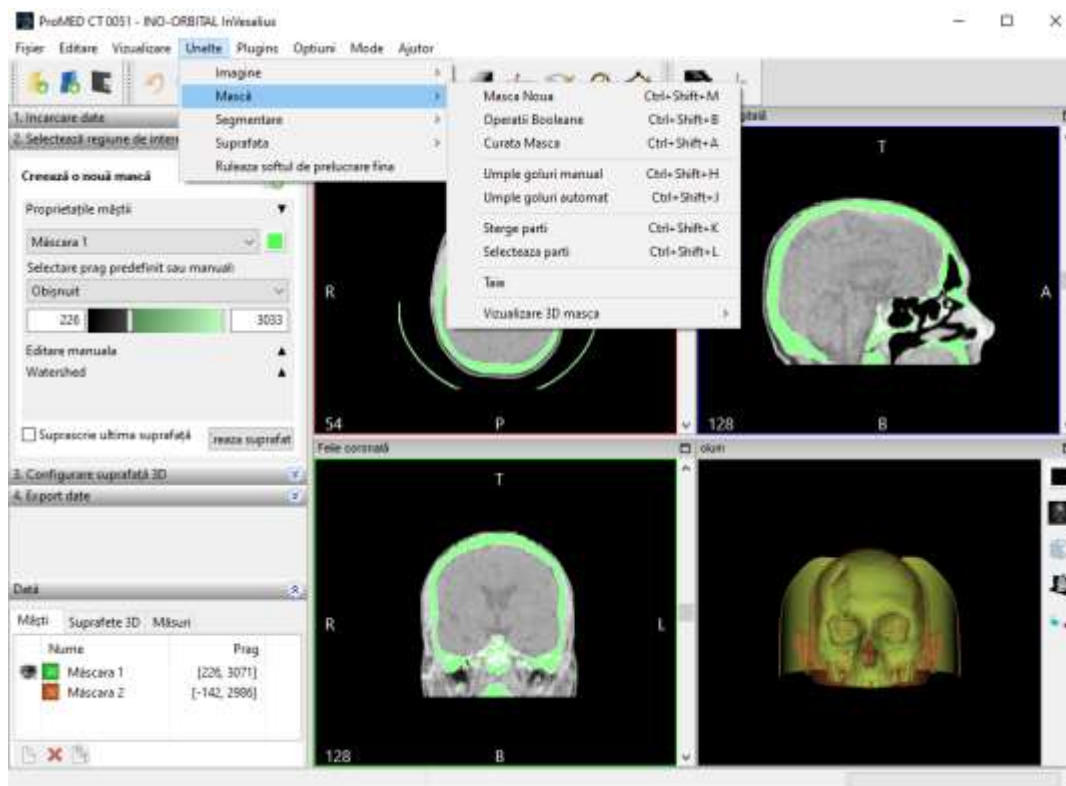


Figura 25. Functionalitatea **Masca** si proprietatile acesteia

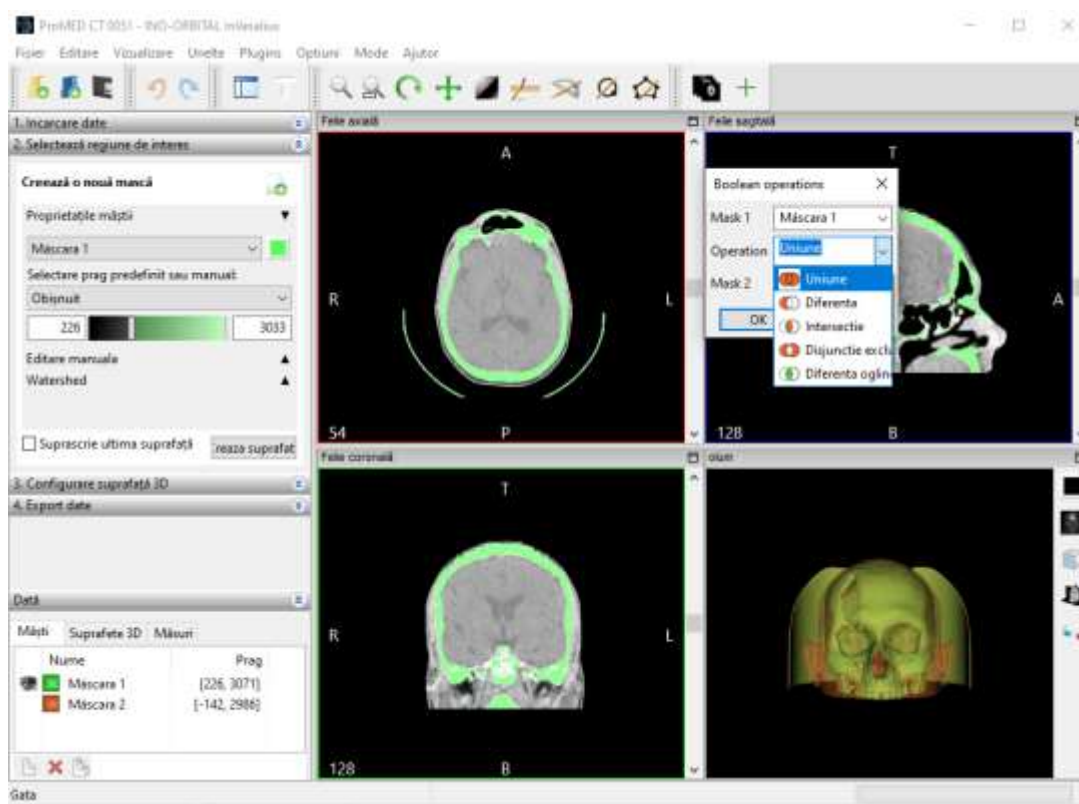


Figura 26. Operatiile booleane dintre masti

7.1 Operatiile booleane ale mastilor

Acestea pot fi efectuate intre masti numai dupa ce a fost facuta segmentarea. Operatiile booleane implementate in acest framework sunt: **Uniune, Diferenta, Intersectie, Disjunctie Exclusiva (XOR) si Diferenta Oglindita.**

Operatia de uniune are ca rezultat o masca compusa din uniunea a doua masti.

Diferenta realizeaza scaderea din prima masca a celei de-a doua.

Intersectia pastreaza partile comune din cele doua masti.

Disjunctia exclusive pastreaza partile din prima masca care nu apar in cea de-a doua masca si partile din a doua masca ce nu sunt prezente in prima masca.

Diferenta oglindita a fost implementata in framework exclusiv pentru acest proiect si este functia care permite crearea sau refacerea unui volum osos din componenta craniului folosind proprietatile de simetrie ale craniului. Este facilitatea care genereaza volumul completand partile lipsa la nivelul fiecarei sectiuni bidimensionale.

In figurile 27 28 este ilustrata refacerea zonei lipsa a craniului din figura 26 folosind doar facilitatea Diferenta Oglindita intre doua masti osoase. Dupa cum se observa planul axial si cel coronal, zonele refacute la nivel bidimensional nu sunt perfecte, cauza fiind o aliniere necorespunzatoare fata de axa de simetrie. Calculul axei de simetrie a unui volum creat din imaginile 2D este urmatoarea etapa a dezvoltarii acestui framework. Ca urmare obiectul 3D poate fi corectat atat folosind facilitatile de umplere a golurilor si stergere a partilor la nivel bidimensional, cat si cu ajutorul unui program postprocesare, capabil sa reduca rugozitatile obiectului tridimensional , prelucrarea facandu-se in mod 3D.

7.2 Operatii de prelucrare a mastilor

Aceste operatii includ curatarea, selectarea si stergerea mastilor sau a unor portiuni din acestea.

Deasemenea in acest capitol sunt incluse si operatiile de umplere automata si manuala a golurilor.

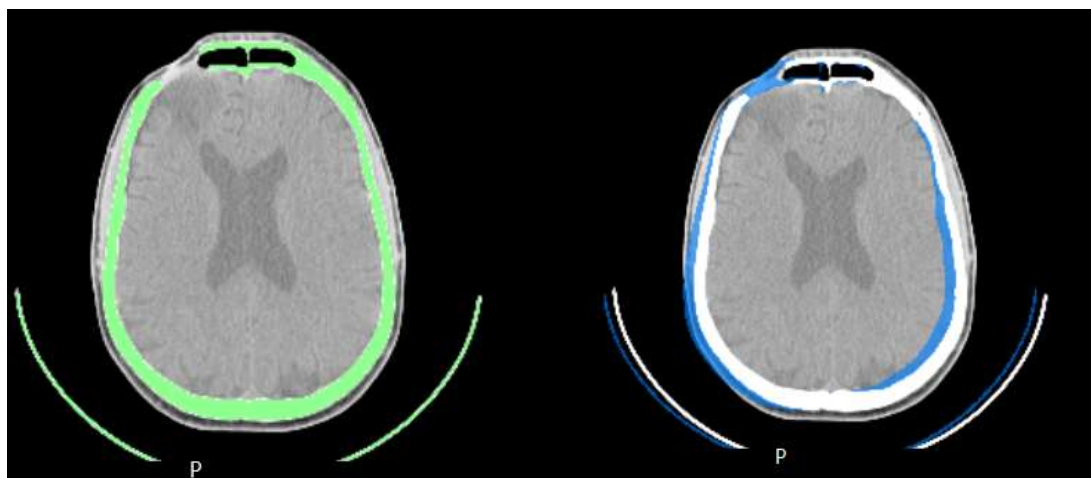


Figura 27. Diferenta Oglindita a doua masti

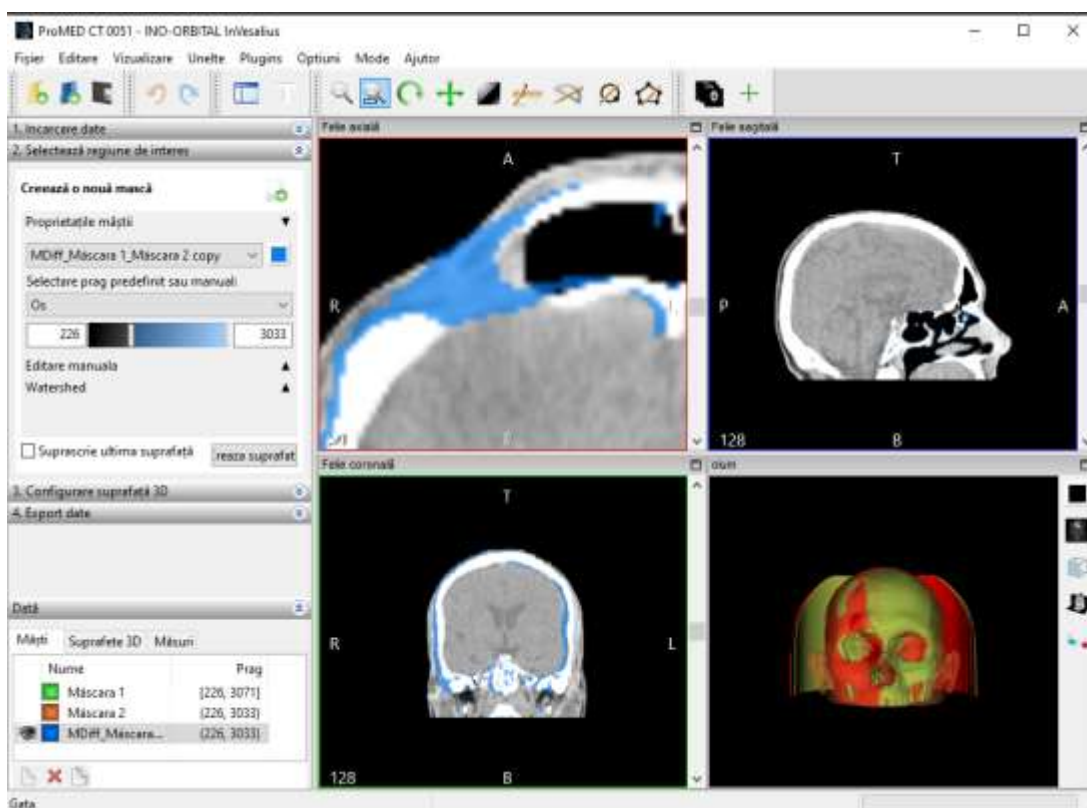


Figura 28. Diferenta Oglindita a doua masti – zona de interes in planul axial

Umplerea manuala a golurilor permite corectarea erorilor de segmentare pentru a evita anumite leziuni in generarea obiectului tridimensional. Aceasta se poate realiza in mod 2D pentru o singura sectiune sau pentru toate sectiunile in modul 3D. Deasemenea se poate configura

conectivitatea la acest nivel. Pentru umplerea automata se va configura in plus orientarea pe care se doreste face corectia precum si numarul maxim de voxeli inclusi intr-un gol. Acest procedeu este iterativ, in sensul ca daca dupa aplicarea modificarilor rezultatul este nemulțumitor, procedeul poate fi reluat pana la obtinerea rezultatelor optime.

Facilitatea care permite curatarea erorilor dupa folosirea operatiilor booleane este **Sterge Parti**. Dupa selectarea parametrilor doriti zona dorita a fi eliminata va fi stearsa cu o simpla apasarea a butonului stanga al mousei.

Facilitatea **Selecteaza Parti** permite selectarea unei regiuni si crearea unei noi masti din acea regiune. Si aceasta facilitate are un meniu de configurare in care se poate alege numele noii masti precum si conectivitatea 3D pentru aceasta.

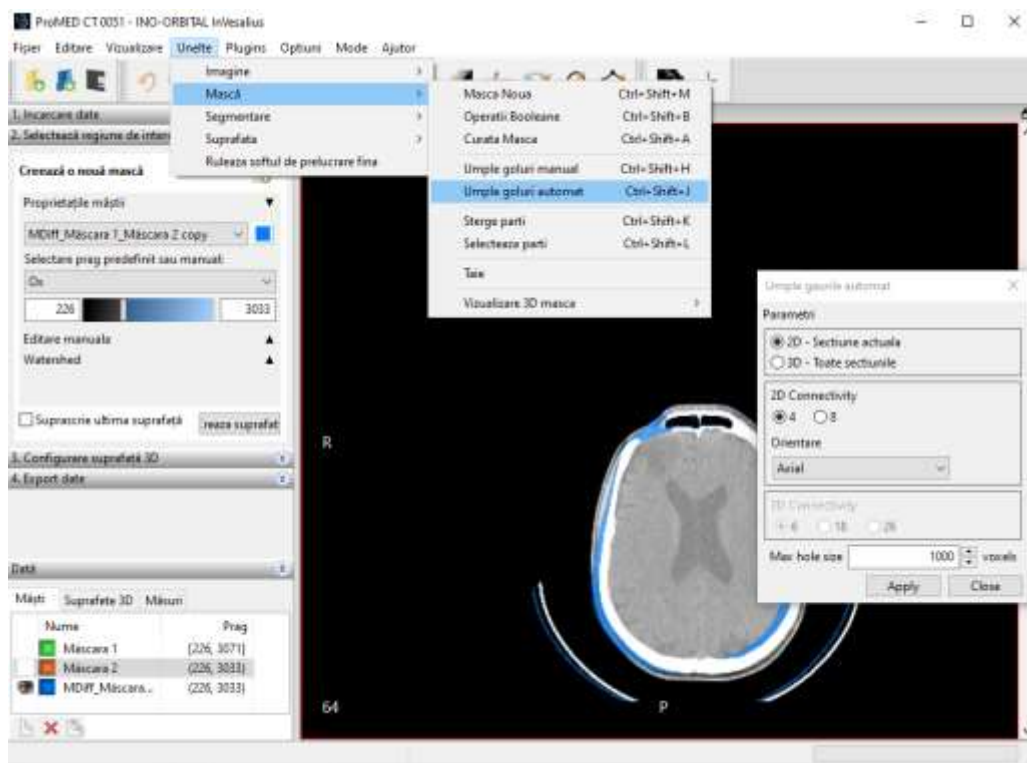


Figura 29. Umplerea automata a golurilor dintr-o masca

In final, functia de **Taie** din meniul Masca permite selectarea unei regiuni de interes a imaginii, reducand astfel semnificativ informatia procesata la momentul generarii unei suprafete.

8. Suprafete

8.1 Generarea suprafetelor tridimensionale

Softul genereaza suprafete tridimensionale bazate pe segmentarea de imagini. Aceasta este generata folosind algoritmi care transforma voxeli in imaginile segmentate in poligoane (de obicei triunghiuri). Configurarea si controlul suprafetelor 3D se realizeaza din meniul 3 din partea stanga a panoului principal - vezi figura 30. Prin optiunea **Creare suprafata 3D noua** se va deschide o noua fereasta in care pot fi configurati diversi parametrii pentru generarea suprafetei: pastrarea regiunilor cele mai mari, umplerea golurilor, metoda de creare a suprafetei (binara, context aware, implicita).

8.2 Prelucrarea si ajustarea suprafetelor tridimensionale

Alte proprietati precum transparenta, culoare, pot fi configurate din meniul **Proprietati suprafata**. Sectiunea de **Optiuni Avansate** permite selectia unei regiuni de interes, a celei mai intinse suprafete sau separarea tuturor suprafetelor intrerupte. O proprietate foarte importanta este transparenta unei suprafete, care poate fi modificata din meniul Optiuni Avansate, asa cum se poate observa in figura 32, folosita la vizualizarea detaliilor in cazul suprafetelor multiple.

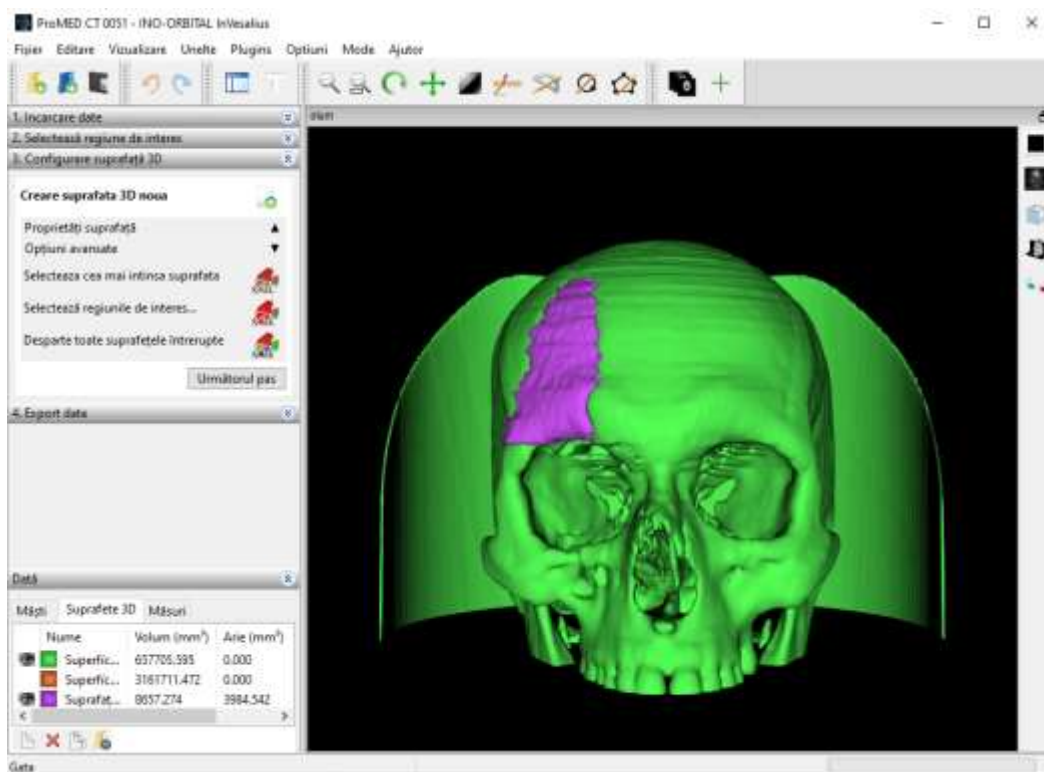


Figura 30. Configurarea suprafetelor tridimensionale

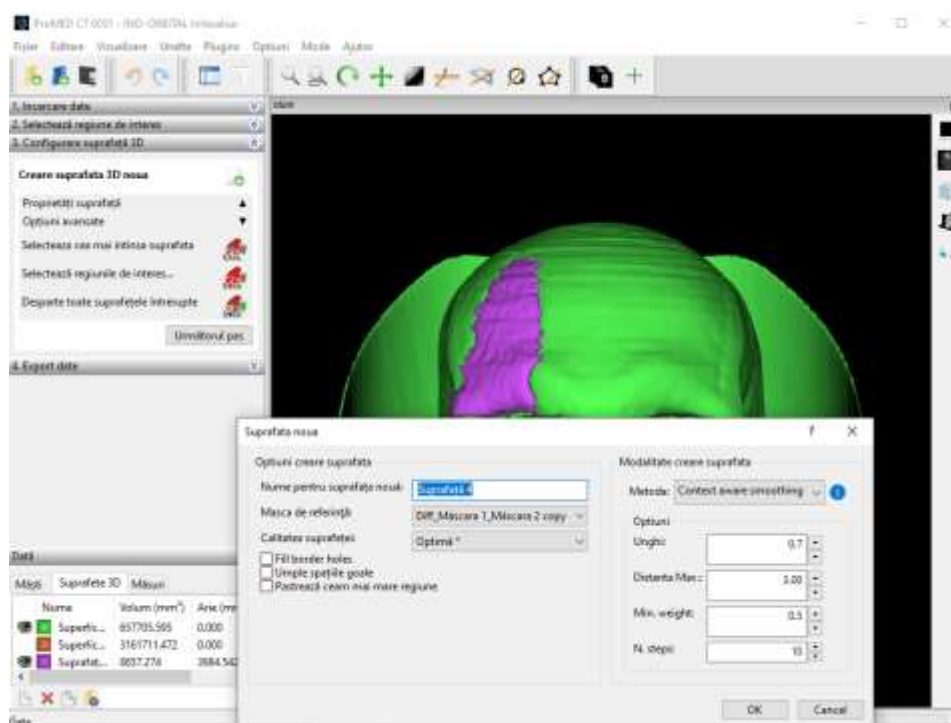


Figura 31. Parametrii necesari pentru generarea unei suprafete tridimensionale

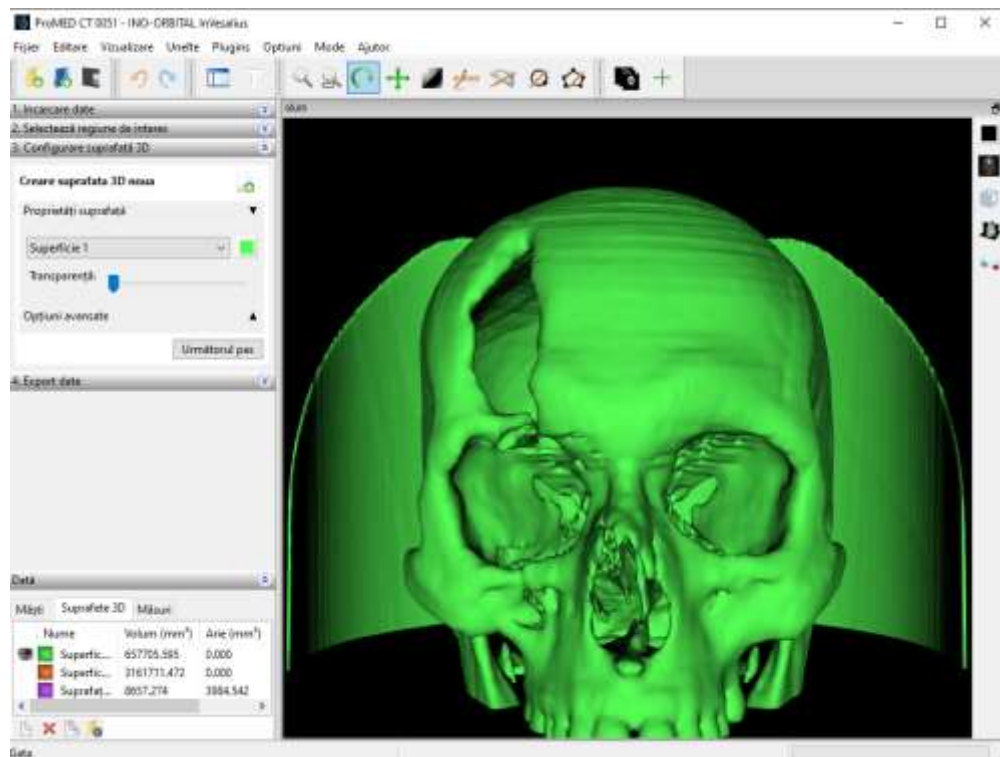


Figura 32. Suprafata 3D a craniului generate folosind setul de imagini medicale

9. Prelucrarea fina si postprocesarea

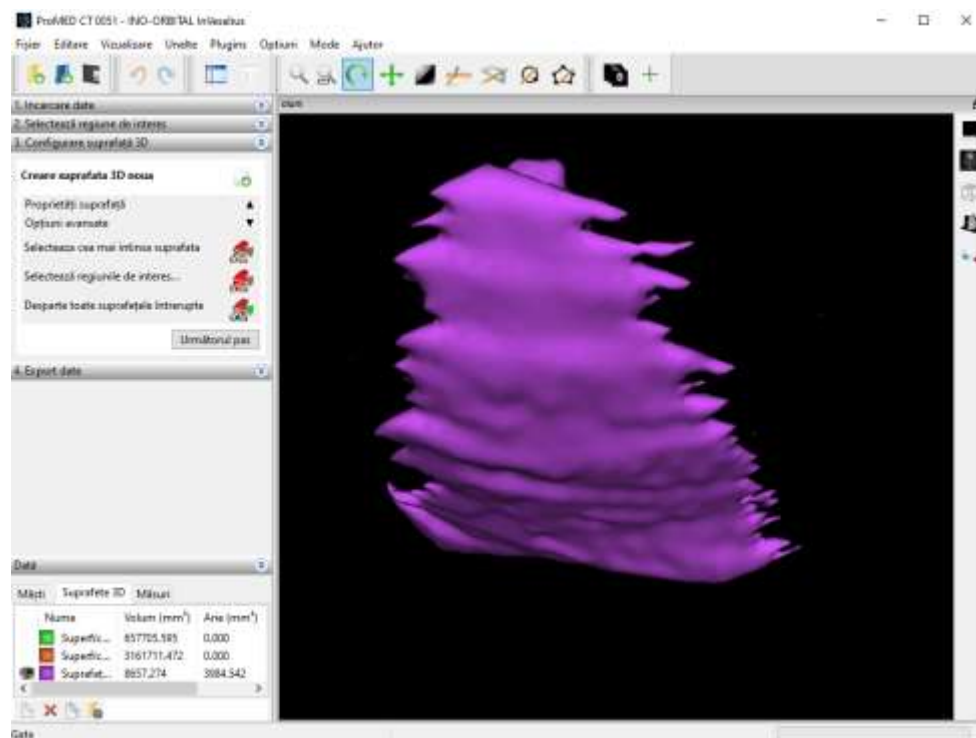


Figura 33 Suprafata 3D a obiectului generat folosind operatiile boleanne si instrumentele de curatare a mastilor.

Dupa cum se poate observa in figurile 32 si 33, folosind facilitatile acestui soft a putut fi generat in format 3D obiectul compatibil cu regiunea afectata a craniului. Fisierul continand acest obiect poate fi exportat in diferite formate (OBJ, STL ,etc) pentru a putea fi folosit in alte softuri sau direct catre o imprimanta 3D. Pentru o compatibilitate ridicata a obiectului cu zona afectata, inainte de printarea fizica, acesta trebuie supus unei postprocesari, care va corecta protuberantele din figura 33 si ca conferi obiectului o structura fizica mult mai compacta.

9.1 Interfatarea softului de prelucrare fina

Asa cum a fost mentionat in introducerea acestui document, pentru operatia de postprocesare au fost folosite alte doua softuri Open Source si Freeware, interfatate direct in meniul acestui program. Configurarea se realizeaza in meniul **Optiuni -> Preferinte->Binding**

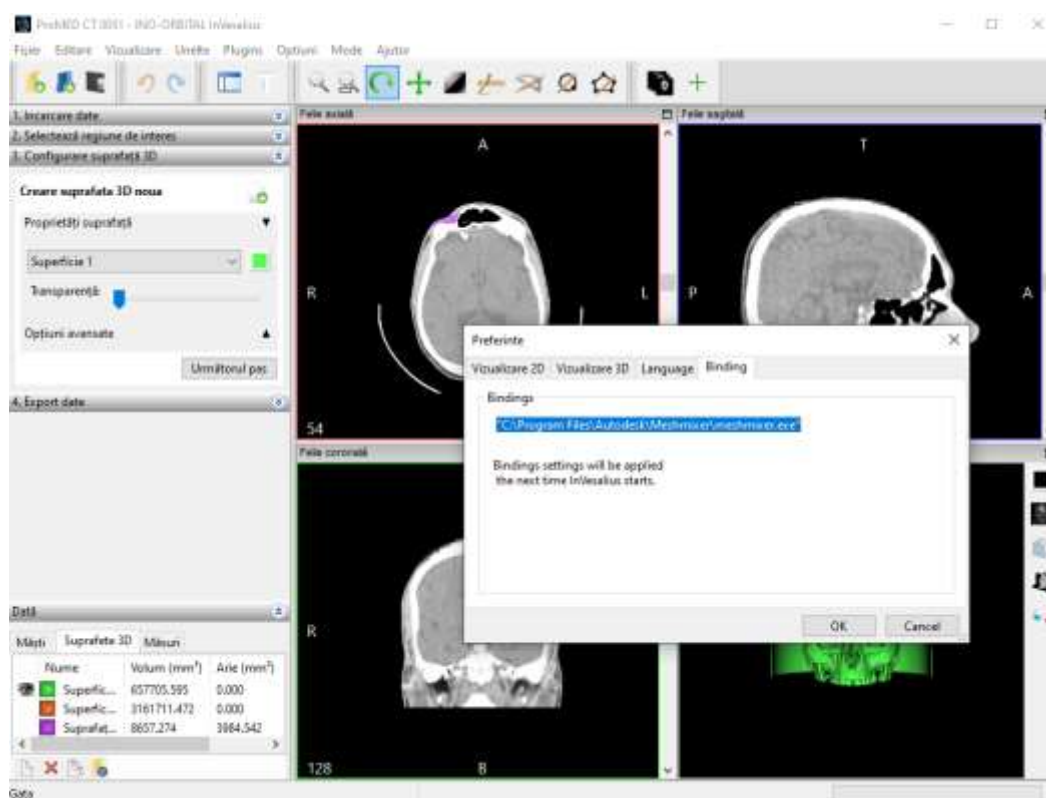


Figura 34 Meniul de configurare a softului de postprocesare fina

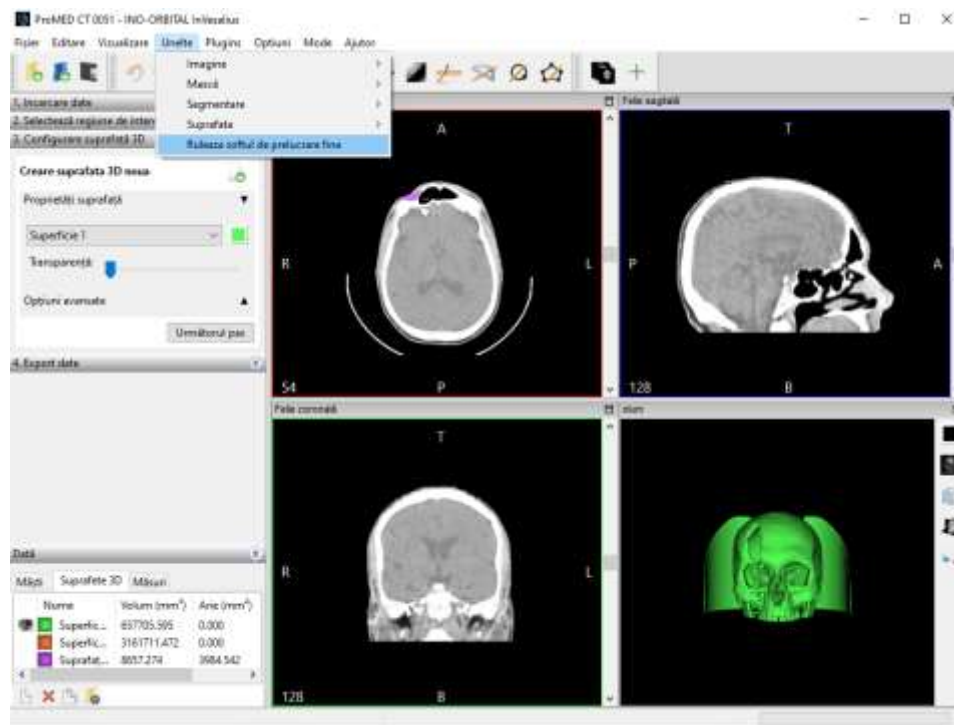


Figura 35 Lansarea softului de prelucrare fina

Dupa lansarea softului de prelucrare fina folosind meniul **Unelte->Ruleaza softul de prelucrare fina** din imaginea 32 aplicatia freeware **MeshMixer** va fi lansata si obiectul 3D generat va fi importat in aceasta.

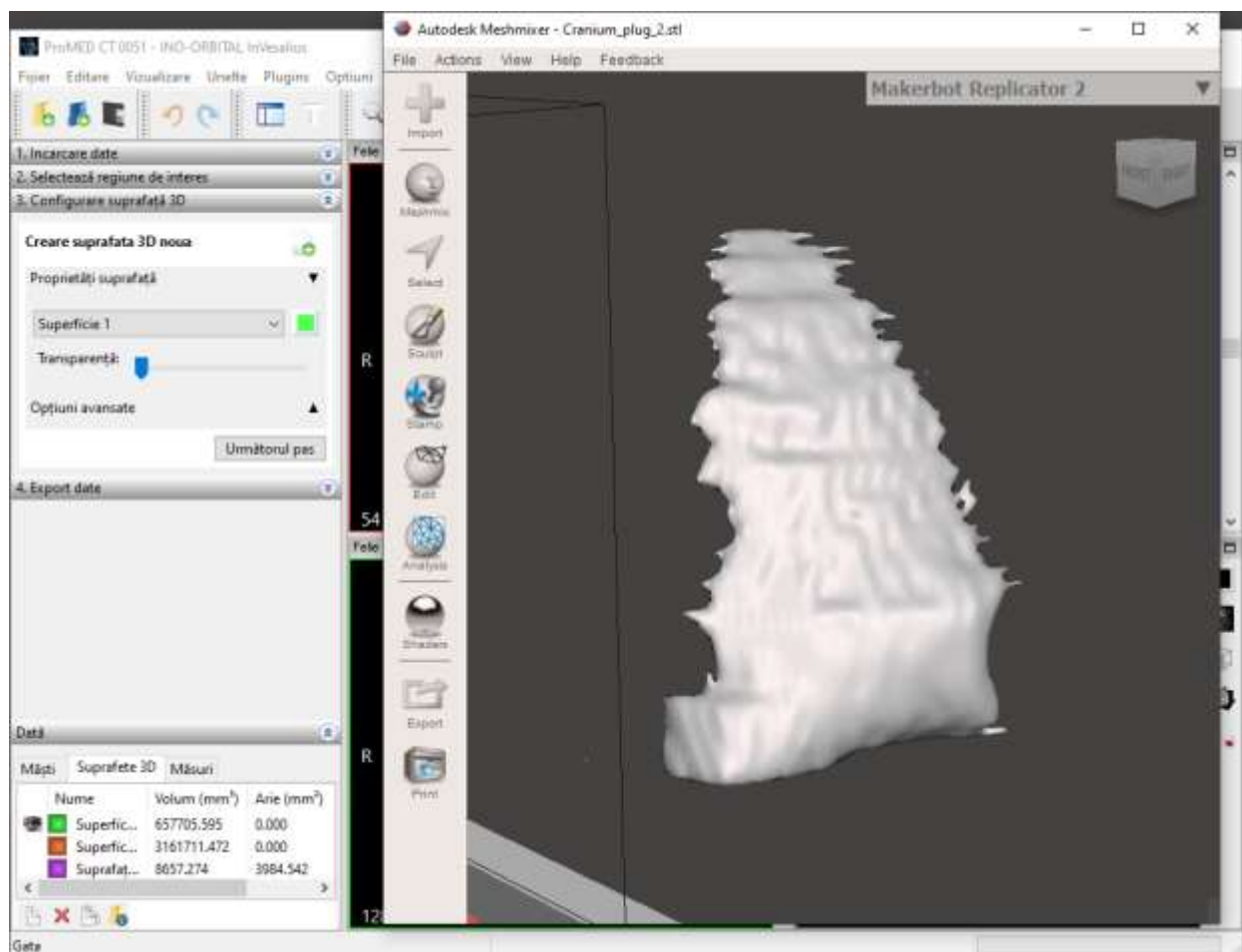


Figura 36 Interfata softului pentru prelucrare fina

9.2 Funcționalitățile softului de prelucrare fina

Formatele fișierelor suportate de acest software sunt: STL (formatul principal pentru imprimarea 3D), OBJ, AMF, PLY, OFF, 3MF, MIX. Dintre aceste formate, cele compatibile cu framework-ul de reconstructive sunt STL și PLY. Exportul acestor două formate se realizează în cazul STL ASCII și binar, fără culoare și în cazul PLY ASCII cu culori RGBA.

Softul permite gestionarea direcției “sus” a modelului importat. Statistic, această direcție este în mod normal distribuită pe axa Y sau Z în proporție de 50% între softurile de imprimare 3D. Pentru o compatibilitate ridicată softul permite o interschimbare între cele două axe.

Deși acest soft are o varietate de facilități ce permit modificarea și manipularea obiectelor tridimensionale, principala facilitate utilizată în cadrul proiectului INO-ORBITAL este funcția **SCULPT**, care permite intervenția directă și foarte simplă asupra obiectului supus prelucrării. După cum se poate observa în figura 37, protuberanțele cauzate de reconstrucția tridimensională folosind procedurile bazate pe măști și operațiile dintre acestea au fost eliminate. Funcționalitatea SCULPT, deși oarecum destul de simplă comparativ cu alte softuri comerciale, permite crearea unor suprafețe foarte detaliate și fine, impetuos necesare reconstrucției 3d din cadrul acestui proiect. Această funcționalitate cuprinde două clase, volume și suprafețe. Fiecare din aceste clase are o implementare diferită, ca atare nu se poate lucra cu ambele clase simultan – vezi figura 37.

Folosirea funcțiilor de bază din meniul **SCULPT**

Funcția Pensula – aceasta poate să fie selectată din meniul Pensule, în funcție de modificările necesare obiectului, așa cum este ilustrat în figura 37.

Pentru fiecare dintre opțiunile selectate, sunt disponibile un set de proprietăți și ajustări de finete, care vor realiza modificările dorite pentru obținerea obiectului tridimensional final. În acest set de proprietăți, de o importanță majoră este opțiunea **simetrie** care permite delimitarea unei zone de simetrie a obiectului. Așa cum a fost menționat anterior, meniul SCULPT este cel care permite prelucrările fine ale obiectului final, însă softul, așa cum este ilustrat în figura 38 are un set complet de funcționalități grupate în meniul Edit ce permit prelucrări și modificări geometrice pe volum: oglindire, duplicare, translație, rotație, scalare în sisteme diferite de axe, grupări de suprafețe, crearea de forme geometrice intersectate cu obiectul, desfasurări și separări.

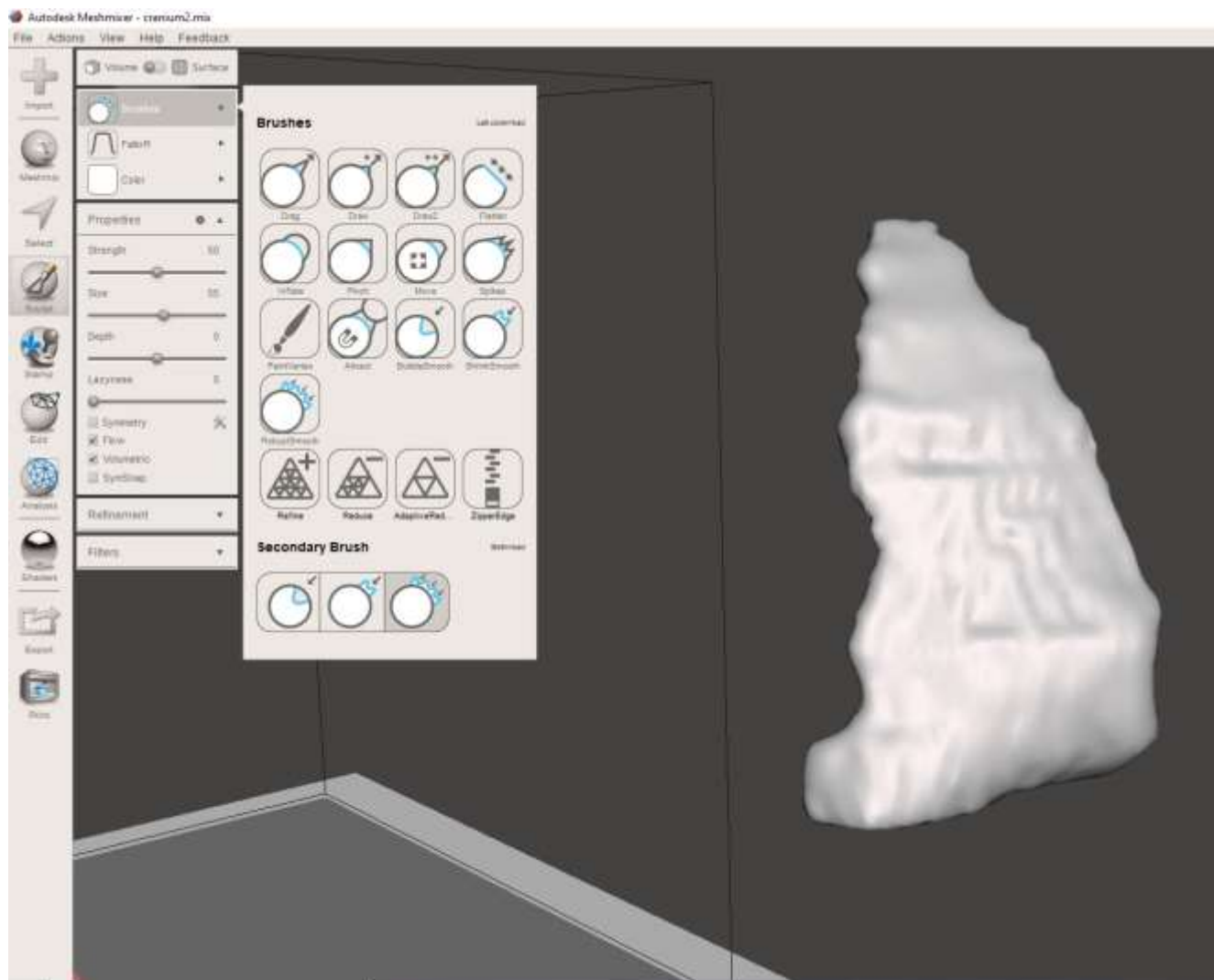


Figura 37 Functiile de baza ale softului pentru prelucrare fina

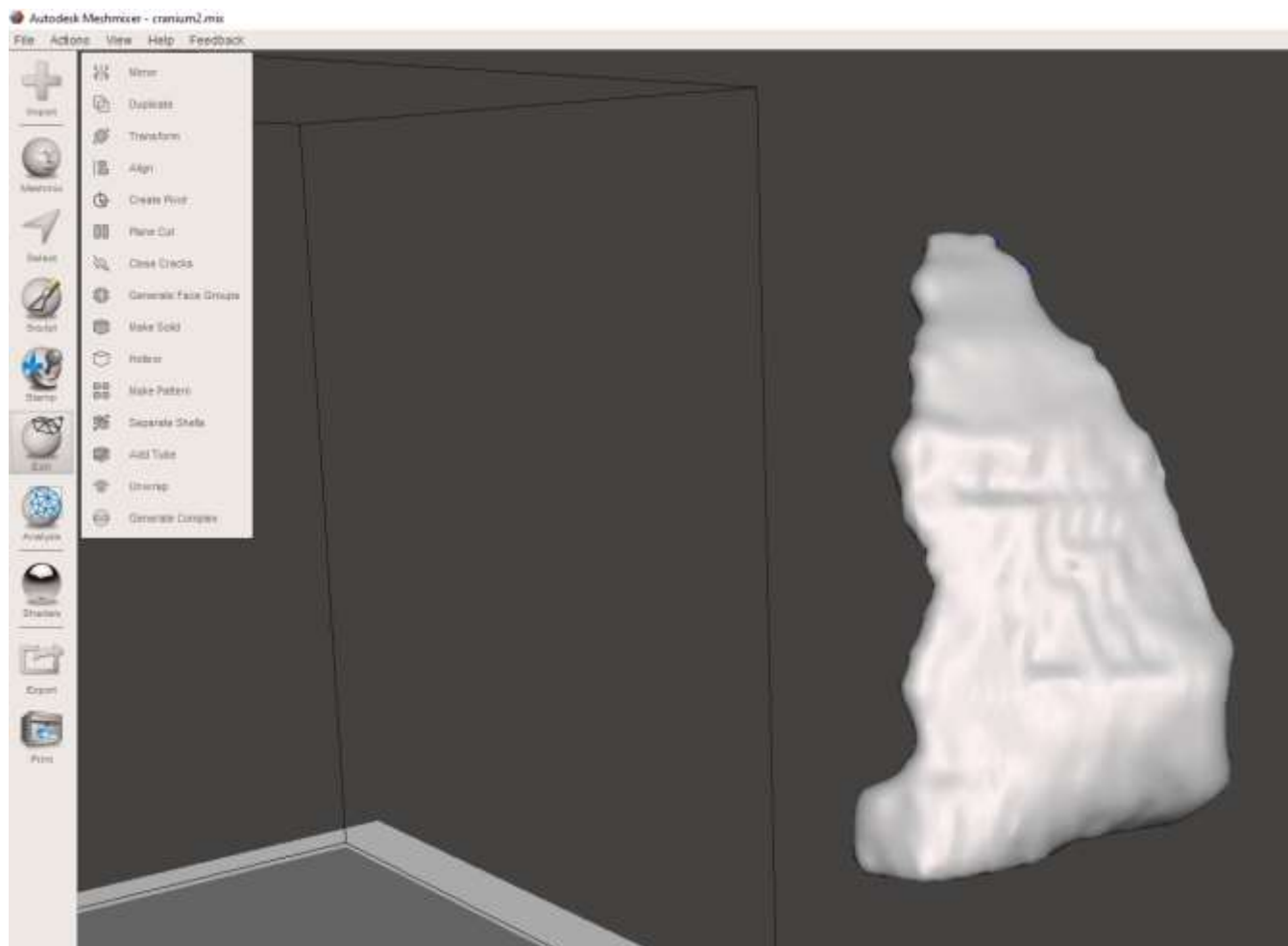


Figura 38 Functiile meniului Edit

În cazul în care sunt necesare intervenții suplimentare asupra obiectului (introducerea unor tijă sau a unor mese pentru mărirea rezistenței sau crearea unor orificii funcționale) acest set de funcționalități permite într-un mod foarte intuitiv aplicarea acestor modificări

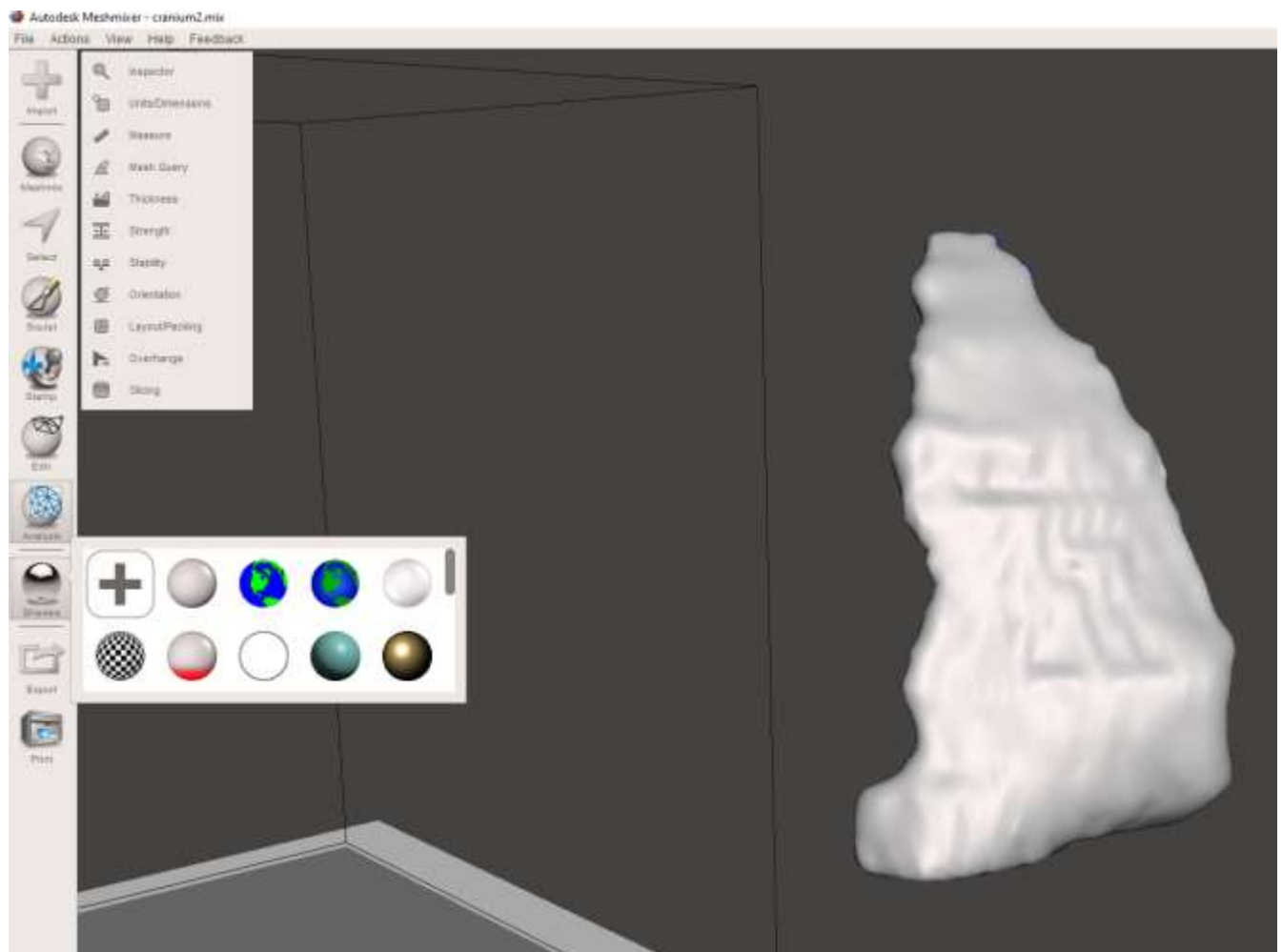


Figura 39 Funcțiile meniului de analiza

Softul dispune deasemenea de un set complet de functionalitati pentru analiza obiectului. Acestea sunt grupate in meniul Analysis dupa cum se poate observa in figura 39. Aceste functii permit obtinerea unor informatii geometrice si de structura, in timp real, ce permit o prelucrare fina mult mai precisa.

Compatibilitatea structurala a obiectului postprocesat din figura 40 poate fi observata in figura 41. Aceasta a fost verificata si fizic cu ajutorul unei imprante 3D comerciale cu care au fost printate obiectele in cauza.

Atât craniul de test cât și obiectul generat au fost transformate în obiecte (fișiere) compatibile cu dispozitivul de fabricare aditivă și au fost folosite pentru a obține, la scala 1:2, două obiecte fizice, din material plastic. Materialul plastic folosit a fost PLA (polylactic acid/acid polilactic).

Rezultatele obținute pot fi vizualizate în figura 42.

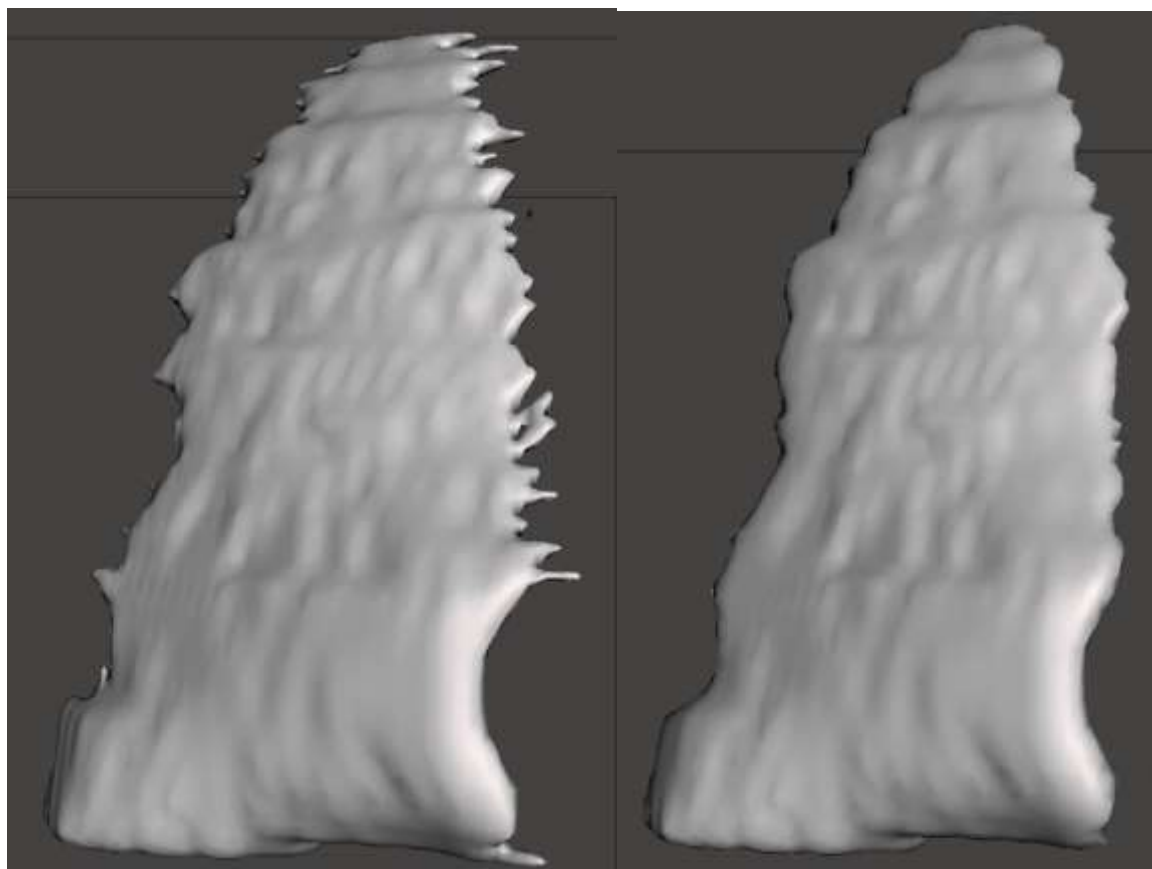


Figura 40 Rezultatul postprocesare al obiectului tridimensional

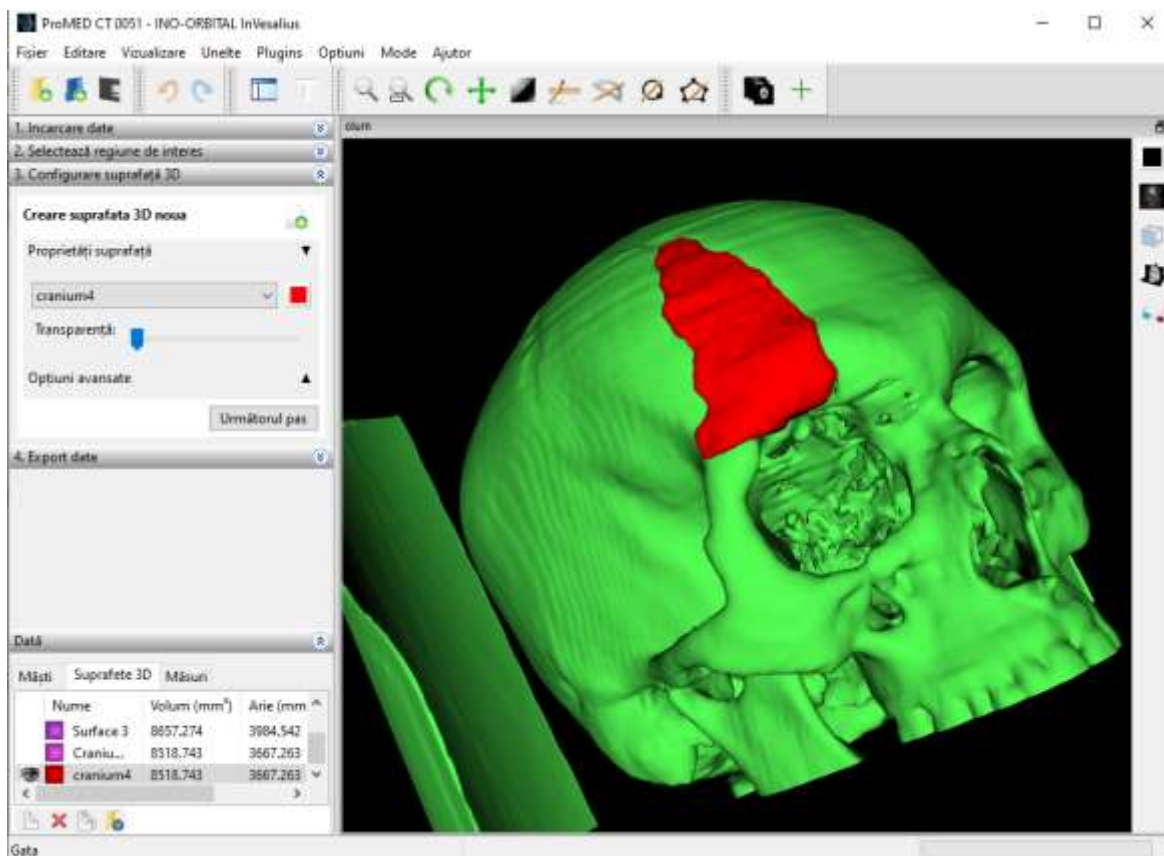


Figura 41. Compatibilitatea dintre obiectul tridimensional generat si zona afectata

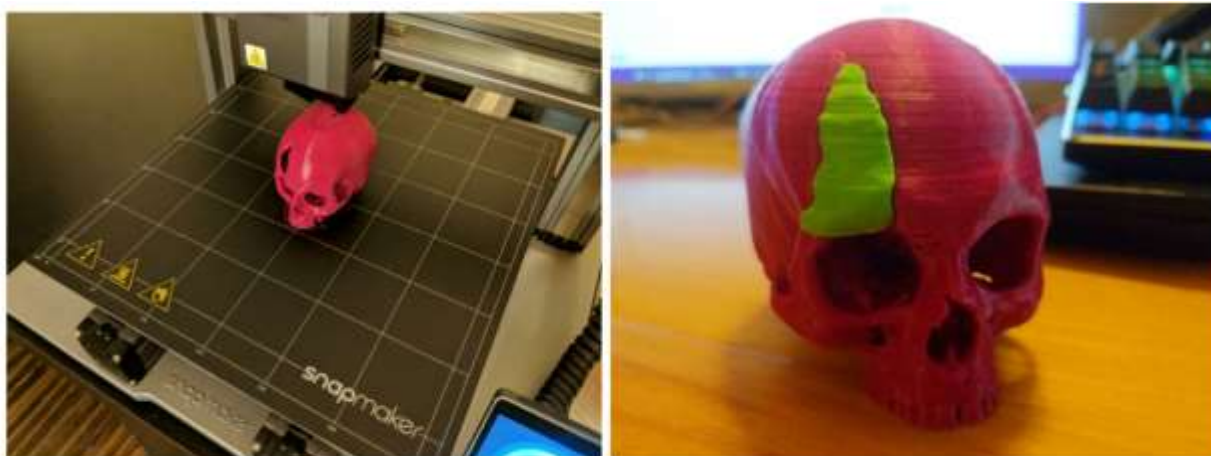


Figura 42. Craniul de test în timpul procedurii de fabricare aditivă și craniul și proteza de test fabricate aditiv și asamblate

10 . Randarea volumica si vizualizarea

Scopul principal al acestui framework este acela de a obtine un obiect tridimensional cu un grad ridicat de compatibilitate anatomica si functionala. Cu toate acestea, frameworkul are un modul care permite randarea volumica folosind tehnica raycasting (simularea unui fascicul de lumina care traverseaza obiectul) precum si un set predefinit de vizualizari. In figura 43 este prezentat setul predefinit de vizualizari, specific unor regiuni si organe anatomice.



Figura 43.Meniul vizualizare si optiunile predefinite

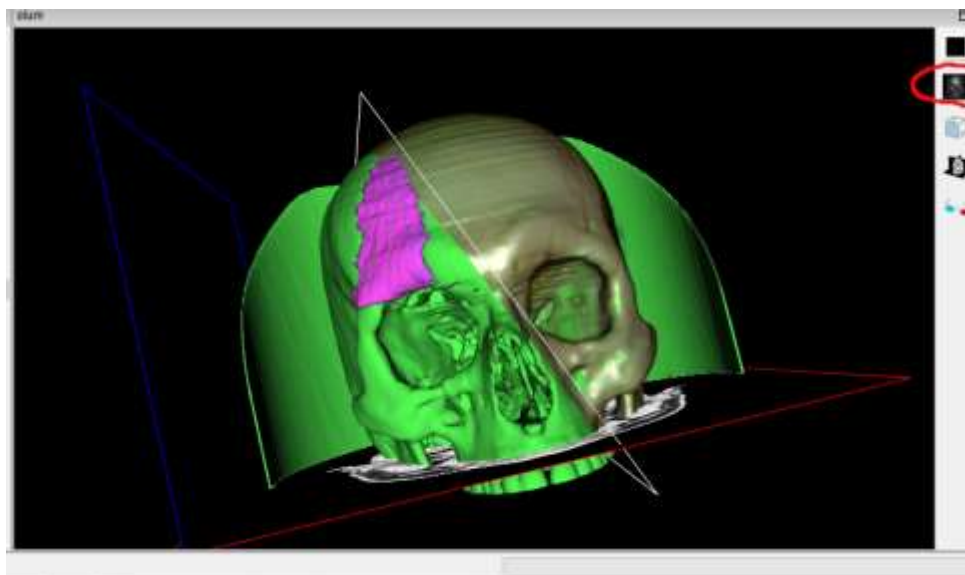


Figura 44. Funcția de tăiere plan

O alta functionalitate foarte utila este functia de taiere printr-un plan intersectat cu obiectul. Functia se gaseste in meniul Unelte din figura 43 care poate fi accesat cu ajutorul iconului din figura 44 (marcat cu cercul rosu). Functionalitatea permite o investigare in detaliu a compatibilitatii protezei printate 3D cu organele anatomice pentru a putea fi ulterior corectata in caz de nevoie.

Referinte

1. <https://invesalius.github.io/>
2. <https://help.autodesk.com/view/MSHMXR/2019/ENU/>
3. <https://www.snapmaker.com/>